

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Identificação e implementação de medidas de racionalização de energia de  
baixo custo em sistemas AVAC (*Campus LNEG – Alfragide*)**

**Raquel Bessone Basto Ramiro**

Versão pública

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

**2014**

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Identificação e implementação de medidas de racionalização de energia de  
baixo custo em sistemas AVAC (*Campus* LNEG – Alfragide)**

**Raquel Bessone Basto Ramiro**

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Orientadores: Marta João Nunes Oliveira Panão (FCUL)

António Manuel Sequeira Abreu (LNEG)

**2014**



*“E quando à tua frente se abrirem muitas estradas e não souberes a que hás-de escolher, não metas por uma ao acaso, senta-te e espera. Respira com a mesma profundidade confiante com que respiraste no dia em que vieste ao mundo, e sem deixares que nada te distraia, espera e volta a esperar. Fica quieta, em silêncio, e ouve o teu coração. Quando ele te falar, levanta-te, e vai para onde ele te levar.”*

***Susanna Tamaro***

## Agradecimentos

Agradeço à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia por permitirem que as minhas metas sejam hoje uma realidade.

Aos meus orientadores António Abreu e Marta Panão, ao Joaquim Milheiro e à colega de estágio, de curso e amiga Diana Coimbra, por terem sido essenciais no decurso e finalização desta dissertação.

Também aos estagiários do *Campus* Alfragide que participaram nas intervenções da área do AVAC e aos estagiários da ISO 50001 do *Campus* Lumiar.

Um agradecimento especial à minha Mãe, ao meu Pai, à Rita, aos amigos de sempre e amigos da faculdade, pela paciência e apoio demonstrados.

A todos em geral que contribuíram de algum modo para este objetivo.

## **Abstract**

In large office buildings, energy consumption in the HVAC systems constitute a very significant portion. The adoption of methodologies for identifying and implementing measures to streamline low cost energy can be created, in an economic crisis, as an essential tool for operating these systems.

This thesis evaluates a methodology previously developed by Enginner António Abreu as an assessing alternative of the potential for conservation of a HVAC system in a large service building, using an optimization algorithm of natural energy resources, called "predictor-corrector".

This intends to motivate the adoption of innovative practices and behaviors, or by reusing materials and using low-cost equipment.

The "predictor-corrector" method together with corrective measures applied, allowed the identification and creation of nonconformities in consumption patterns, as well as the rehabilitation and optimization of the equipments producers of cold and heat, distribution system and equipment of the ventilation system.

Savings were achieved relating to charges associated with the maintenance and regular charges of electricity and propane gas. Therefore inherent emissions were reduced. It was also solved a leak of water and operated upon existing hydraulic system to reduce water consumption and to optimize the operation of the HVAC system.

For technical reasons, there was impossible the full recovery of the producing cold units. Currently this system is being operated at 25% of the installed capacity however, it was sufficient for the total cooling of the building.

Were reached acceptable indoor air quality levels, as well as cooling and heating of the spaces.

It has been proven that with effective measures and low cost solutions, it is possible to improve the working conditions and safety of the HVAC system, improving the energy efficiency of the associated processes.

**Keywords:** HVAC; Energy Efficiency; "Predictor-Corrector".

## **Resumo**

Nos grandes edifícios de serviços, os consumos de energia em sistemas AVAC constituem uma parcela muito significativa. A adoção de metodologias de identificação e implementação de medidas de racionalização de energia de baixo custo pode, constituir-se, num cenário de crise económica, como uma ferramenta essencial para o funcionamento destes sistemas.

Esta dissertação avalia uma metodologia previamente desenvolvida pelo Engenheiro António Abreu como alternativa na avaliação do potencial de conservação de um sistema de climatização num grande edifício de serviços, utilizando um algoritmo de otimização de recursos energéticos naturais, designado por “predictor-corrector”.

Pretende motivar a adoção de práticas e comportamentos inovadores, através da reutilização ou utilização de materiais e equipamentos de baixo custo.

O método “predictor-corrector” juntamente com as medidas corretivas implementadas, possibilitou a eficaz identificação dos desvios existentes nos perfis de consumo, assim como a reabilitação e otimização dos equipamentos produtores de frio e de calor, da rede de distribuição e dos equipamentos do sistema de ventilação.

Foram atingidas poupanças relativas aos encargos com a manutenção e às faturas de energia elétrica e gás propano. Consequentemente foram reduzidas as emissões inerentes. Foi também solucionada uma fuga de água existente e intervencionado o sistema hidráulico de modo a otimizar o funcionamento do sistema AVAC.

Verificou-se inexecutável a recuperação total das unidades produtoras de frio, por problemas técnicos, estando atualmente este sistema a funcionar a 25% da potência instalada, que se revelou suficiente para o arrefecimento total do edifício.

Atingiram-se níveis aceitáveis no que se refere à qualidade do ar interior, assim como o arrefecimento ou aquecimento dos espaços a climatizar.

Provou-se que, com medidas eficazes e soluções de baixo custo, é possível aperfeiçoar as condições de funcionamento e segurança do sistema AVAC, incrementando a eficiência energética dos processos associados.

**Palavras-chave:** AVAC ; Eficiência Energética ; “Predictor-Corrector”.

**Esta dissertação foi redigida tendo em conta o novo acordo ortográfico.**

# Índices

Abreviaturas: .....	16
1. Introdução.....	1
1.1 Contexto .....	1
1.2 Motivação.....	4
1.3 Objetivos .....	6
1.4 Estrutura .....	7
2. Sistemas de climatização e ventilação.....	9
2.1 Sistema AVAC .....	9
2.1.1 Chillers .....	9
2.1.2 Caldeira .....	14
2.1.3 Ventilação.....	17
2.1.4 Sistema de distribuição.....	19
2.2 Enquadramento legislativo .....	22
3. Caso de estudo.....	27
3.1 Apresentação do LNEG.....	27
3.2 Descrição geral do edifício.....	27
3.3 Caracterização do sistema AVAC do edifício.....	28
3.3.1 Chillers .....	28
3.3.2 Caldeira .....	34
3.3.3 Ventilação.....	34
3.3.1 Sistema de distribuição.....	35
3.4 Estado inicial .....	41
3.4.1 Chillers .....	41
3.4.2 Caldeira .....	47
3.4.3 Ventilação.....	48
3.4.4 Sistema de distribuição.....	51
3.4.5 Sala técnica do sistema AVAC.....	53



4.	Intervenções.....	55
4.1	Planos de manutenção .....	55
4.1.1	Manutenção corretiva .....	55
4.2	Aplicação do modelo “predictor-corrector” .....	58
4.3	Intervenções corretivas.....	61
4.3.1	<i>Chillers</i> .....	61
4.3.2	Caldeira .....	73
4.3.3	Ventilação.....	79
4.3.4	Sistema de distribuição.....	83
4.3.5	Sala técnica do sistema AVAC.....	93
5.	Estado final.....	95
6.	Impactos decorrentes das intervenções .....	97
7.	Conclusões .....	99
7.1	Replicabilidade.....	99
7.2	Dificuldades encontradas e sugestões .....	99
7.3	Discussão.....	100
8.	Referências .....	103
	Anexos.....	109
	Anexo I.....	109
	Anexo II.....	110
	Anexo III .....	111
	Anexo IV .....	112
	Anexo V .....	114
	Anexo VI.....	116
	Anexo VII.....	117
	Anexo VIII .....	120
	Anexo IX .....	121
	Anexo X .....	122
	Anexo XI.....	130

Anexo XII.....	131
Anexo XIII .....	132
Anexo XIV .....	134
Anexo XV .....	135
Anexo XVI.....	136
Anexo XVII.....	138

Tabela 1: Características técnicas e aplicações de unidades ventiladoras (Carpinteiro, 2011) .....	17
Tabela 2: Quadro resumo da legislação (edifícios) (Fragoso, 2013).....	23
Tabela 3: Características elétricas e pressões de R-22 relativas ao funcionamento do compressor.....	29
Tabela 4: Temperatura de ebulição, temperatura crítica e pressão crítica para os refrigerantes a considerar (Danfoss, 2009).....	33
Tabela 5: Composição, <i>Ozone Depletion Potential</i> e <i>Global Warming Potential</i> para os refrigerantes a considerar (Danfoss, 2009).....	33
Tabela 6: Características funcionais nominais de cada <i>Chiller</i> .....	33
Tabela 7: Etapas de modulação, dimensões e peso em serviço de cada <i>Chiller</i> .....	34
Tabela 8- Características funcionais nominais da caldeira.....	34
Tabela 9: Esquema de funcionamento das válvulas modulantes - Circuito Poente .....	40
Tabela 10: Esquema de funcionamento das válvulas modulantes - Circuito Nascente.....	40
Tabela 11: Características elétricas medidas nos grupos hidráulicos.....	52
Tabela 12: Quadro elétrico, designação, local e zonas beneficiadas – UTAs e UTANs.....	56
Tabela 13: Quadro elétrico, designação, local e zonas beneficiadas - VEs.....	57

Figura 1: Evolução da pegada ecológica mundial (WWF International, 2014) .....	1
Figura 2: Concentrações de CO <sub>2</sub> desde 1990 (IPCC report) .....	2
Figura 3: Consumo interno bruto de energia por habitante em Portugal e na UE (REA, 2013) .....	2
Figura 4: Emissões de GEE por habitante em Portugal e na UE (REA, 2013) .....	2
Figura 5: Melhores escolhas para o futuro (WWF International, 2014) .....	3
Figura 6: Consumo de energia final por setor (DGEG, 2012).....	4
Figura 7: Taxa de avarias em equipamentos com o passar do tempo (Pitéu, 2011).....	5
Figura 8: Sistema básico de refrigeração (Castro, 2011).....	9
Figura 9: Diagrama pressão-entalpia (circuito teórico) (Castro, 2011).....	12
Figura 10: Diagrama pressão-entalpia (ciclo ideal e ciclo real) (Castro, 2011) .....	13
Figura 11: Potências envolvidas no circuito frigorífico .....	13
Figura 12: Eficiência de combustão vs. Excesso de ar (Babcock & Wilcox Co., 2007).....	16
Figura 13: Principais processos de produção de calor numa caldeira .....	16
Figura 14: Representação das potências envolvidas no trabalho de uma hidrobomba.....	21
Figura 15: Formato de um certificado energético segundo EN 15217.....	24
Figura 16: Nova etiqueta energética (Fragoso, 2013) .....	26
Figura 17: Esquema representativo dos componentes e funcionamento de cada <i>Chiller</i> .....	29
Figura 18: Representação esquemática de uma VET e pressões respetivas (Carpinteiro, 2011) .....	30
Figura 19: Representação esquemática de um <i>Chiller</i> .....	31
Figura 20: Manómetros indicadores da pressão e temperatura no compressor .....	31
Figura 21: Circuito de eletroventiladores do <i>Chiller 1</i> .....	32
Figura 22: Circuito de eletroventiladores do <i>Chiller 2</i> .....	32
Figura 23: Representação dos processos que ocorrem numa UTA (Carpinteiro, 2009) .....	35
Figura 24: Circuito primário de frio .....	36
Figura 25: Circuito primário de calor .....	37
Figura 26: Circuito secundário (UTAs).....	37
Figura 27: Representação de uma válvula de cunha (PAM Saint-Gobain).....	39
Figura 28: Esquema de funcionamento das válvulas do tipo borboleta .....	40
Figura 29: Sala da segurança, onde está o computador com acesso ao programa de gestão AVAC ....	41
Figura 30: Fluxóstato danificado e corroído – <i>Chiller2</i> .....	42
Figura 31: Compressor 1 do <i>Chiller 2</i> (pressóstatos danificados).....	42
Figura 32: Ferrugem e componentes danificados na zona do permutador e tubagem de água .....	42
Figura 33: Pressóstatos de baixa e alta pressão e pressóstato do óleo (avariados) e sem tampa de proteção .....	43
Figura 34: Furo do purgador entupido e corroído .....	44
Figura 35: Cabos de alimentação do Q.E. <i>Chiller</i> (sem neutro).....	45
Figura 36: Circuito elétrico de ventilação existente no Q.E. <i>Chiller</i> .....	45
Figura 37: Imagem do circuito de ventilação dos <i>Chillers</i> (pré-intervenção).....	46

Figura 38: Bobinas das eletroválvulas.....	46
Figura 39: Conduta dos gases de exaustão visivelmente corroída .....	47
Figura 40: Estado inicial do queimador da caldeira .....	48
Figura 41: Fluxóstato com problemas elétricos e corrosão .....	48
Figura 42: Caixa de comando das válvulas de três vias visivelmente degradada .....	49
Figura 43: Sistema de distribuição com tubagem corroída, ligações elétricas danificadas e equipamentos avariados .....	49
Figura 44: UTA2 – correias com alguma folga.....	50
Figura 45: UTV danificada e degradada .....	50
Figura 46: VH7 sem correias.....	51
Figura 47: Estado de degradação e sujidade das eletrobombas de circulação (BVCs) .....	52
Figura 48: Unidade ventiloconvetora com problemas de corrosão .....	53
Figura 49: Situação inicial do sistema de drenagem .....	53
Figura 50: Diagrama de blocos (Abreu, 2003) .....	55
Figura 51: Alterações ao ciclo $p-h$ através do método corretivo.....	60
Figura 52: Colocação dos tubos do manómetro nas corretas posições.....	62
Figura 53: Medição das pressões baixa e alta através dos manómetros respetivos.....	62
Figura 54: Compressor 1 do <i>Chiller</i> 1 .....	62
Figura 55: Resistência defeituosa.....	63
Figura 56: Resistência Nova.....	63
Figura 57: Bobinas das eletroválvulas (válvulas de expansão) .....	63
Figura 58: Tratamento de placas estruturais com recurso a rebarbadora com escovilhão .....	64
Figura 59: Pintura das placas de suporte dos ventiladores .....	64
Figura 60: Pintura de torneiras e válvulas de cunha.....	64
Figura 61: Pintura do permutador - <i>Chiller</i> 1 .....	65
Figura 62: Reorganização das placas de suporte dos ventiladores.....	65
Figura 63: Colocação das placas de suporte dos ventiladores - <i>Chiller</i> 1 .....	66
Figura 64: Testes e medições aos ventiladores.....	66
Figura 65: Ventilador com enrolamentos queimados.....	67
Figura 66: Ventilador bobinado .....	67
Figura 67: Representação dos terminais de um motor com seis terminais (três enrolamentos e seis terminais) (O blog dos Eletricistas, 2013).....	67
Figura 68: Diagrama representativo de uma ligação em triângulo (esquerda) e em estrela (direita) (O blog dos Eletricistas, 2013) .....	68
Figura 69: Ligação em série dos ventiladores .....	69
Figura 70: Colocação dos ventiladores nas placas de suporte.....	70
Figura 71: Soldadura das roscas colocadas nas tubagens (Eng. António Abreu).....	70
Figura 72: Montagem da união antivibrática da tubagem de entrada de água no permutador .....	71

Figura 73: Instalação dos contactores de 400V no circuito de ventilação.....	72
Figura 74: Situação do novo esquema do circuito de ventilação .....	72
Figura 75: Reestruturação dos relés .....	72
Figura 76: Colocação de novos relés de 24V ac.....	73
Figura 77: Montagem e ligação dos novos componentes de passagem de gás .....	73
Figura 78: Realização de um teste de fugas .....	74
Figura 79: Instalação final do contador de impulsos.....	74
Figura 80: Zona de entrada de ar (sem filtro).....	75
Figura 81: Otimização da razão estequiométrica .....	75
Figura 82: Carregamento de gás por parte de um técnico especializado.....	76
Figura 83: Instalação do fluxóstato .....	77
Figura 84: Relé a funcionar como encravamento de segurança e sinalização de aviso .....	77
Figura 85: Detetor de gás instalado .....	78
Figura 86: Remoção da chaminé de exaustão .....	78
Figura 87: Colocação de parte da chaminé a sair pela parede.....	79
Figura 88: Verificação do estado de funcionamento do grupo moto ventilador .....	79
Figura 89: Purga das tubagens da UTA3.....	80
Figura 90: Regulador de temperatura instalado.....	80
Figura 91: Grupo motoventilador da UTA2 com folga nas correias de transmissão .....	80
Figura 92: Remoção das caixas de comando das válvulas de três vias .....	81
Figura 93: Reestruturação da UTV .....	81
Figura 94: Bateria de resistências removida da UTV.....	82
Figura 95: Remoção da estrutura de suporte do ventilador .....	82
Figura 96: Inversão de ciclo anterior à reestruturação .....	83
Figura 97: Processo de inversão de ciclo demorado, de acordo com o projeto.....	83
Figura 98: Inversão de ciclo nas UTAs .....	84
Figura 99: Remoção do troço respetivo a uma válvula removida .....	84
Figura 100: Reestruturação de todo o sistema de válvulas.....	84
Figura 101: Recorte de juntas em cartão hidráulico.....	85
Figura 102: Colocação do veio da torneira da válvula de cunha do coletor de calor .....	85
Figura 103: Aplicação de estopa de linho numa rosca de um troço de tubagem.....	85
Figura 104: Vaso de expansão de 80L .....	86
Figura 105: Montagem do contador volumétrico.....	86
Figura 106: Colocação de uma união flexível em pvc .....	87
Figura 107: Purgador na tubagem da sala AVAC .....	87
Figura 108: Instalação do sistema torneira e purga nos permutadores.....	88
Figura 109: Instalação do sistema torneira e purga nas tubagens de água .....	88
Figura 110: Colocação de um rolamento no veio do rotor de um dos grupos.....	88

Figura 111:Desmontagem dos componentes para limpeza e reparação .....	89
Figura 112: Ligações elétricas nos terminais dos enrolamentos .....	89
Figura 113: Apertos mecânicos finais .....	90
Figura 114: Limpeza e lubrificação do grupo turbina/impulsor .....	90
Figura 115: Remoção do grupo turbina/impulsor com ferramenta extratora de rolamentos .....	91
Figura 116: Pedra calcária descoberta na turbina.....	91
Figura 117: Novo empanque e O´ring para colocação no grupo turbina/impulsor .....	91
Figura 118: Ventiloinvector a ser reparado .....	92
Figura 119: Reparação do motor do VC.....	92
Figura 120: Ligação do tubo de saída de água ao VC .....	93
Figura 121: Final da intervenção, com o teto falso já colocado .....	93
Figura 122: Colocação do ralo sifónico de maior dimensão .....	94

**Abreviaturas:**

AVAC: Aquecimento, ventilação e ar condicionado

BQ: Hidrobomba do circuito de produção de calor

BF: Hidrobomba do circuito de produção de frio

BVC: Hidrobomba do circuito de distribuição para os ventiloconvectores

UTA: Unidade de tratamento de ar

UTAN: Unidade de tratamento de ar novo

VET: Válvula de expansão termostática (*Chiller*)

R-22: Fluido refrigerante utilizado nas unidades produtoras de água fria

GEE: Gases com efeito de estufa



## 1. Introdução

### 1.1 Contexto

As alterações climáticas são atualmente um dos maiores problemas globais, com ameaças ao nível ambiental mas também socioeconómico (REA, 2013).

O relatório Planeta Vivo 2014 da *World Wide Fund for Nature* refere o aumento do número de espécies em perigo de extinção e alerta para a necessidade de soluções sustentáveis para salvar as espécies e o próprio planeta. Apresenta também a Pegada Ecológica (que mede a pressão humana sobre a natureza) que tem vindo a aumentar de forma insustentável. Este relatório surge como um alerta para os impactos crescentes das alterações climáticas e constata a evidência de que estas já estão a ter impactos na saúde do planeta. Indica também que atualmente, a procura humana sobre o planeta é superior em mais de 50% do que o que a natureza pode renovar, sendo necessários 1,5 planetas para satisfazer as necessidades da humanidade (WWF International, 2014).

Como é possível observar na Figura 1, durante quase meio século, a procura aumentou e excedeu a biocapacidade do nosso planeta. Contudo, sabe-se que apesar da pegada ecológica *per capita* de países desenvolvidos ser cerca de cinco vezes superior à dos países com baixos rendimentos, é possível aumentar ou pelo menos manter o nível de vida, desde que a utilização de recursos seja feita de modo consciente e eficiente. (WWF International, 2014)

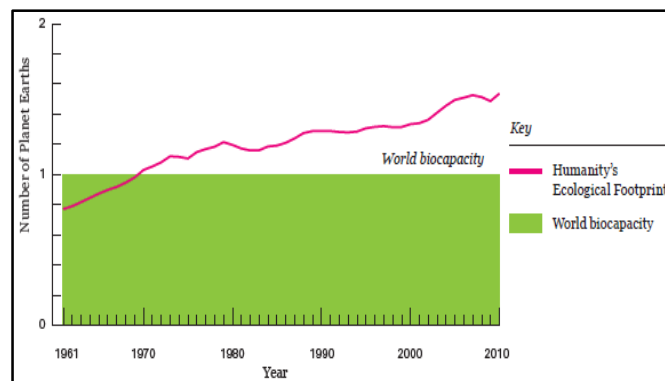


Figura 1: Evolução da pegada ecológica mundial (WWF International, 2014)

A Convenção Quadro das Nações Unidas, relativa às alterações climáticas revelou-se crucial na medida em que sensibilizou a população Mundial para a importância de reduzir os efeitos antropogénicos causados pelo atual estilo de vida, através da estabilização das concentrações de Gases de Efeito de Estufa (GEE) a longo prazo.

É importante a adoção de medidas de mitigação das emissões de GEE a nível internacional e de forma agregada, transversalmente a todos os setores de atividade. (REA, 2013)

As emissões globais de dióxido de carbono constituem a principal causa do aquecimento global e têm vindo a aumentar por todo o Mundo, e também na Europa (Figura 2). As consequências verificam-se igualmente ao nível da biodiversidade, biocapacidade do planeta e bem-estar humano, especialmente no que diz respeito à segurança alimentar e da água. A pegada de carbono da Europa representa quase 50% da pegada ecológica global, devido à queima de combustíveis fósseis, como o carvão, petróleo e gás natural (WWF International, 2014).

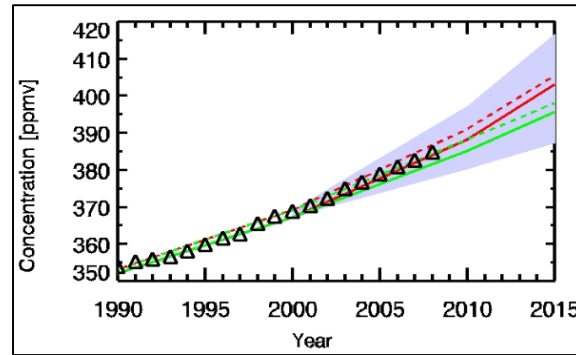


Figura 2: Concentrações de CO<sub>2</sub> desde 1990 (IPCC report)

Em Portugal, ao longo dos anos, a emissão destes poluentes esteve muitas vezes associada ao consumo interno bruto do país, visto que a poluição aumentava como consequência de uma maior produtividade, tal como é possível verificar pelas Figuras 3 e 4. Em 2011, Portugal apresentou uma das mais baixas capitações entre os países da UE-27, com um valor de 6,6 tCO<sub>2</sub>eq/hab, sendo o valor médio da UE-27 de 9 tCO<sub>2</sub>eq/hab, tendo sido, no entanto o segundo país que mais aumentou a emissão dos GEE em 20 anos. (REA, 2013)

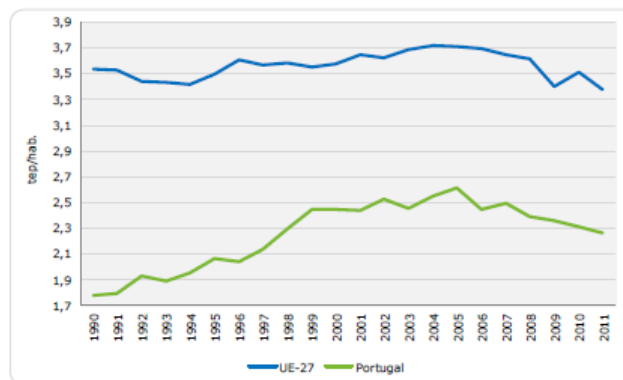


Figura 3: Consumo interno bruto de energia por habitante em Portugal e na UE (REA, 2013)

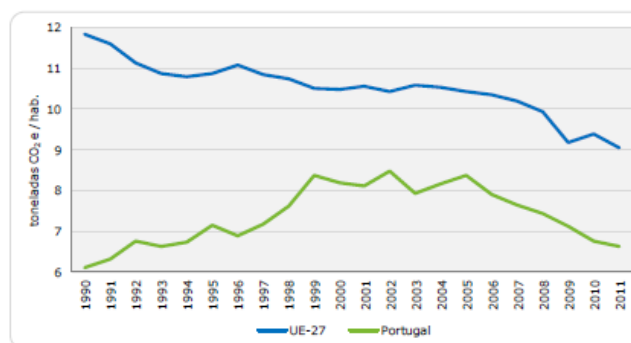


Figura 4: Emissões de GEE por habitante em Portugal e na UE (REA, 2013)

Recentemente, a taxa de poluição encontra-se mais desassociada da economia, por outro lado, os indicadores da dependência energética (cerca de 79,8%), revelam que o nosso país continua a apresentar um elevado consumo de energia face à riqueza gerada. (REA, 2013)

Deste modo, é crucial a continuação de esforços, não a só a nível local, como também global, de forma a reduzir a taxa de poluição e a dependência energética do exterior (REA, 2013).

Para isso, é necessária uma correta e eficiente gestão dos recursos existentes, dos edifícios, das cidades e transportes e também uma aposta na tecnologia e na investigação (Energia em Portugal, 2014).

Nos últimos 15 anos, a política energética portuguesa ficou marcada por investimentos significativos em fontes de energia renovável (FER). Mais recentemente, no decorrer da crise económica, foram importantes os documentos estratégicos lançados com objetivo do cumprimento das metas para 2020, como o PNAEE (Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética) e PNAER (Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis), permitindo não só a racionalidade económica no consumo de recursos, como também a adoção de medidas que vão ao encontro das metas Europeias (20-20-20), permitindo atingir o aumento de 20% no uso de energias renováveis, de 20% na eficiência energética e uma redução de 20% na emissão de GEE até ao ano de 2020. (Energia em Portugal, 2014)

Relativamente ao nosso País, na Administração Pública as metas em termos de eficiência energética são a redução no consumo de energia primária em 25% e a redução de 30% no consumo de energia final nos edifícios estatais. No respeitante à utilização de FER, as metas são de 31% de redução no consumo final bruto de energia e de 10% no sector dos transportes, até 2020. (Energia em Portugal, 2014)

A crise económica existente em cada vez mais países em todo o Mundo, traduz-se numa oportunidade para fomentar a eficiência energética e sustentabilidade no uso de energia, agregada às poupanças económicas e ao estabelecimento das metas pretendidas. (Energia em Portugal, 2014)

É importante que sejam cumpridas as metas definidas para 2020, de modo a poderem-se verificar os impactos positivos esperados ao nível do ecossistema. Após este prazo, a Europa deverá preparar a transição para um sistema hipocarbónico até 2050, privilegiando as FER e a eficiência energética. (Energia em Portugal, 2014)

É então crucial reduzir a pegada ecológica a nível mundial, principalmente nos países desenvolvidos. De acordo com o Relatório Planeta Vivo 2014, a solução passa por melhores escolhas no dia-a-dia, como produção e consumo sensatos, redirecionamento dos fluxos financeiros e preservação do ecossistema, de modo a permitir manter a integridade do ecossistema, a conservação da biodiversidade, o acesso a alimentação e água, assim como uma segurança energética (WWF International, 2014) (Figura 5).

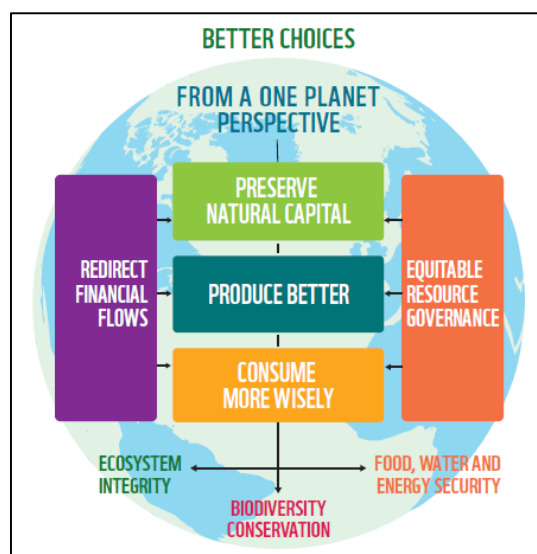


Figura 5: Melhores escolhas para o futuro (WWF International, 2014)

## 1.2 Motivação

Em especial para as empresas do setor público, nos tempos atuais de crise, é cada vez mais importante o contexto energético e ambiental, para além do socioeconómico. A redução do consumo de energia deve conseguir-se através da eficiência energética, sem compromisso ao nível do conforto térmico e da qualidade do ar interior.

Em 2011, a distribuição do consumo de energia final por setor em Portugal encontra-se representada na Figura 6.

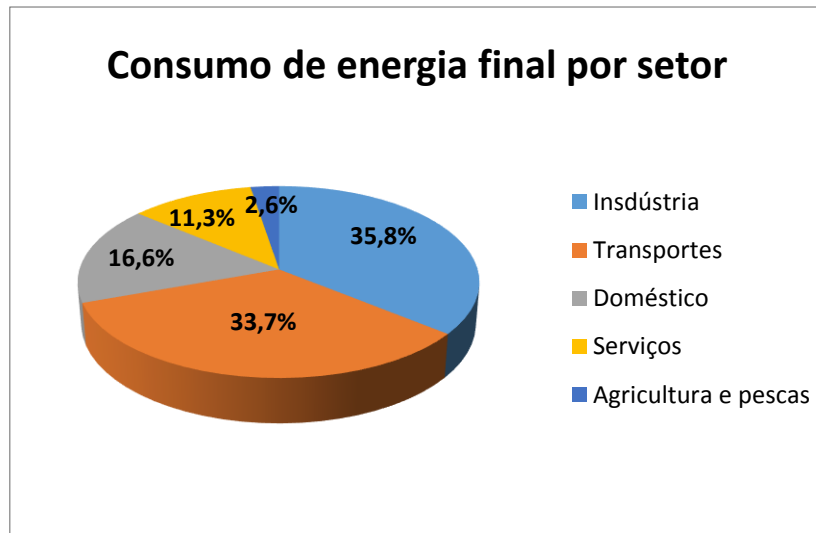


Figura 6: Consumo de energia final por setor (DGEG, 2012)

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, “o setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal”.

Deste modo, cada vez mais se torna crucial o desenvolvimento de estratégias com carácter inovador e de ferramentas e soluções simples, de baixo custo e facilmente acessíveis que permitam uma otimização dos recursos energéticos.

Dada a importância da manutenção nos edifícios, notar que existem três principais formas de manutenção: preventiva, corretiva e curativa. (Pitéu, 2011)

A manutenção preventiva é realizada com o propósito de evitar avarias e permitir um correto e seguro funcionamento dos equipamentos, podendo ser executada de forma sistemática ou não sistemática, sendo preferível a sistemática de modo a possibilitar um aumento de vida útil dos equipamentos e sistemas energéticos. (Pitéu, 2011)

A manutenção corretiva ocorre quando é necessária uma alteração ou correção de um problema existente, quer derivado da não realização de manutenção preventiva, quer com o objetivo de otimizar o funcionamento dos equipamentos. (Pitéu, 2011)

A manutenção curativa consiste na correção de uma avaria, de modo a recolocar o equipamento em condições favoráveis de funcionamento e pode ocorrer em qualquer fase da vida de determinado equipamento. (Pitéu, 2011)

Para atingir o objetivo de racionalização de energia nos edifícios, nomeadamente os edifícios públicos, é muito importante a realização de manutenção preventiva ao invés da corretiva.

Na Figura 7, é possível observar quais os tipos de manutenção mais indicados em cada fase da vida de um equipamento. Na fase de “rodagem” (*commissioning*) do equipamento, a taxa de avarias é elevada

devido a erros de projeto, montagem, dimensionamento de componentes, bem como defeitos dos componentes no início de vida. (Pitéu, 2011)

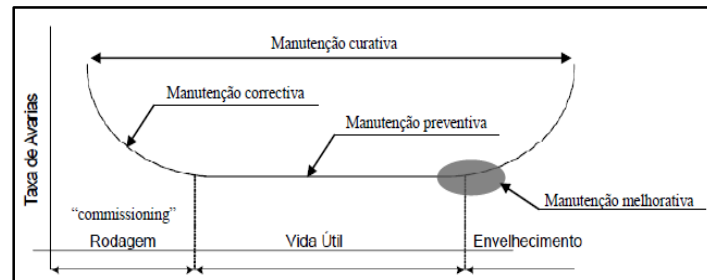


Figura 7: Taxa de avarias em equipamentos com o passar do tempo (Pitéu, 2011)

Durante a vida útil, a taxa de avarias é menor. Porém, sobretudo em equipamentos não sujeitos a qualquer tipo de manutenção, a fase de envelhecimento pode ocorrer antes do previsto, sendo necessárias intervenções morosas e com maiores custos. Deste modo, é sempre preferível a manutenção preventiva e curativa ao invés da corretiva. (Pitéu, 2011)

É crucial perceber como responder a um edifício do ponto de vista energético para que se consigam reduzir as necessidades energéticas e, conseqüentemente, todos os efeitos inerentes ao consumo de energia (Marques, 2011). Dada a escassez de energia em todo o mundo e, dada a cada vez maior urgência na conservação de energia, um sistema de climatização mais eficiente é, obviamente, altamente desejável (Qun Chen, 2011).

Na Diretiva 2010/31/EU surge o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (nZEB). Este tipo de edifício tem capacidade de obter quase todas as suas necessidades energéticas a partir de fontes de energia renováveis, não poluentes, localmente disponíveis e rentáveis. Teoricamente, é possível imaginar um edifício capaz de gerar energia suficiente no local, para igualar o seu consumo operacional, de modo a que o balanço anual entre a energia produzida e consumida seja nulo (P. Torcellini, 2006). O desafio, que consiste em alcançar esta *performance*, passa pela da redução das necessidades energéticas em perfeito equilíbrio com a produção de energia com recurso a fontes renováveis (Ferreira, 2012).

Nos consumos energéticos de um edifício, o sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) é um dos sistemas mais determinantes (William Bahnfleth et al, 2014) (Detlef Westphalen, 2001), visto que a percentagem de energia gasta na climatização em relação ao consumo total pode atingir os 50% (Marques, 2011).

As unidades de arrefecimento (*Chillers*) correspondem a uma das componentes mais importantes dos sistemas AVAC, com um consumo de energia significativo face ao consumo de energia elétrica de um edifício (Zhenjun Ma, 2008). Deste modo é crucial estudar a otimização dos métodos de operação destas unidades e de redução de energia, de modo a minimizar os custos e a proporcionar um melhor desempenho operacional destas unidades (Zhenjun Ma, 2008) (Ribeiro, Abril 2012).

O mercado dos sistemas AVAC é essencial do ponto de vista das poupanças para o país, da sustentabilidade e boas práticas na área dos edifícios. O consumo de energia dos edifícios tem vindo a crescer de uma forma insustentável em toda a Europa, o que motivou o lançamento do programa ECO.AP. Com este pretende-se a utilização de medidas de eficiência energética, assim como de intervenção e otimização nos sistemas AVAC dos edifícios da Administração Pública, com claros benefícios na redução de encargos associados. (Ascenso & Cardoso, 2012) (ADENE)

Segundo a ADENE, este programa teve por objetivo a criação de um “barómetro de eficiência energética para os edifícios estatais e a contratação de empresas de serviços energéticos (ESE)”. O programa indicava a necessidade de que entidades públicas com consumos superiores a 100 MWh/ano, celebrassem contratos de desempenho energético com as ESE. (ADENE)

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) foi criado pela resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de abril, para o período compreendido entre 2013 e 2016. O principal objetivo deste plano incide sob a diretiva 2012/27/EU, especificando uma redução no consumo de energia primária em geral para o país de 25% e de 30% para o setor do Estado. (DGEG, 2012)

A importância da manutenção dos sistemas AVAC, ultrapassa o objetivo da redução do consumo de energia e emissões, uma vez que a qualidade do ar interior dos edifícios é também uma preocupação.

Frequentemente o ar que se respira em ambientes fechados encontra-se contaminado, dependente de fatores como a qualidade do ar exterior, falta de ventilação, sobrelotação dos espaços, presença de substâncias químicas e sintéticas ou agentes microbiológicos. Cada vez uma maior percentagem da população mundial sofre problemas de saúde relacionados direta ou indiretamente com a qualidade do ar interior nos locais de trabalho, essencialmente doenças no sistema respiratório como cancro, asma, alergias, entre outros. (William Bahnfleth et al, 2014) (instalador, 2013)

As auditorias à qualidade do ar interior permitem observar que há uma grande ocorrência de concentrações de poluentes superiores aos valores máximos regulamentares, sobretudo no que se refere a partículas suspensas no ar (PM10), em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), compostos orgânicos voláteis totais (COVs totais) e em bactérias e fungos, sobretudo devido à elevada densidade ocupacional dos espaços e à falta de manutenção das unidades de tratamento de ar. (William Bahnfleth et al, 2014)

Como frequentemente os edifícios têm número e localização de trabalhadores variáveis, a adequação do caudal de ar, de modo a otimizar a distribuição de ar insuflado pelo edifício, mantendo os níveis de conforto térmico e de qualidade do ar interior, podem conduzir a uma redução dos encargos com energia. (Sampaio, 2013)

### 1.3 Objetivos

Este trabalho surgiu como resultado de um estágio realizado no *Campus* do LNEG Alfragide nas áreas de iluminação, sistemas AVAC, bem como água e segurança.

Contextualiza-se na aplicação de uma metodologia alternativa na avaliação do potencial de conservação do sistema de climatização de um grande edifício de serviços, utilizando um algoritmo de otimização de recursos energéticos naturais, desenvolvido pelo Engenheiro António Abreu (técnico responsável daquela instituição) designado por “predictor-corrector”, com resultados práticos de aplicação muito positivos noutros casos de estudo, nomeadamente: Instalações do Regimento de Comandos, Comando de Instrução do Exército, Regimento de Artilharia Antiaérea nº1, *American International School*, Instituto Superior Técnico (*TagusPark*), com o apoio da Segurança Social, Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento de Sintra, Câmara Municipal de Sintra, Câmara Municipal da Amadora, Instituto de Apoio a Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento, assim como da Autoridade Tributária. Este algoritmo foi registado sob o número de registo 5408/2014, pelo Ministério da Cultura.

Esta dissertação pretende constituir um documento que visa incrementar a tomada de consciência por parte dos decisores políticos da administração pública, relativamente à importância da manutenção

regular dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado nos edifícios estatais, assim como da necessidade de preservação dos quadros, acompanhada de formação técnica e incentivo para a manutenção das infraestruturas.

Neste âmbito, o trabalho tem por intuito motivar a adoção de práticas e comportamentos inovadores, através da reutilização dos materiais e equipamentos já existentes nos próprios edifícios, reduzindo o investimento financeiro necessário, para além da possível introdução de estagiários com a criação de oportunidade de aprendizagem e aplicação de conhecimentos.

As intervenções realizadas no âmbito deste trabalho visam o aumento da eficiência energética dos equipamentos e instalações, a segurança dos utilizadores e a redução significativa dos encargos associados à gestão e manutenção do edifício na área do AVAC.

Deste modo, os objetivos específicos preconizados nesta dissertação são:

- Recuperação do sistema AVAC deste edifício, reutilizando os materiais e equipamentos sempre que possível ou utilizando soluções de baixo custo, essencialmente no que se refere às unidades produtoras de frio e calor;
- Introdução de um sistema de gestão simples e eficiente para o funcionamento do sistema AVAC;
- Poupança energética e redução da emissão de gases com efeito de estufa associada, com recurso à otimização nos processos de arrefecimento, aquecimento e ventilação;
- Criação de um plano de manutenção preventiva para todo o sistema AVAC, que permita reduzir a quantidade de intervenções da responsabilidade de empresas externas de manutenção e a conservação do bom estado dos equipamentos;
- Aumento das condições de segurança do edifício no que se refere às unidades de climatização e outros equipamentos;
- Consciencialização por parte dos funcionários para a importância dos hábitos relacionados com o uso de energia, resultando num aumento da motivação laboral e na redução do uso desnecessário de recursos energéticos.

É ainda de referir que todos os trabalhos realizados tiveram a presença e acompanhamento permanente do Engenheiro António Manuel Sequeira Abreu com, termo de responsabilidade, declaração da Ordem dos Engenheiros como possui o nível de qualificação profissional Membro E2 da especialidade de Engenharia Eletrotécnica e seguro de responsabilidade civil de exploração e profissional.

## **1.4 Estrutura**

Este trabalho possui sete Capítulos principais e dezassete Anexos.

O Capítulo 1 inclui uma breve introdução, a motivação e os objetivos do trabalho.

No Capítulo 2 procede-se à revisão bibliográfica sobre os sistemas de climatização e ventilação.

No Capítulo 3, referente ao caso de estudo, é descrita a caracterização do sistema AVAC do edifício e a situação inicial.

O Capítulo 4 apresenta as intervenções realizadas, os planos de manutenção e a aplicação do modelo “predictor-corrector”.

No Capítulo 5 descreve-se a situação final atingida e apresenta-se a desagregação dos consumos associados ao sistema AVAC.

O Capítulo 6 pretende simular os impactos ocorridos e uma estimativa de poupanças entre custos reais e custos de contratação externa.

Por fim, o Capítulo 7 é constituído por uma reflexão crítica e discussão das principais conclusões bem como, as propostas de trabalho futuro.





## 2. Sistemas de climatização e ventilação

### 2.1 Sistema AVAC

#### 2.1.1 Chillers

Um *Chiller* é o principal equipamento que integra um sistema de distribuição centralizado e tem como objetivo a produção de frio para arrefecer um ou mais edifícios. Pode também ser utilizado em aplicações industriais. Estes podem remover o calor através da utilização de ciclos de refrigeração por compressão de vapor ou por absorção (utilizando soluções de amónia ou brometo de lítio). (Herbert W., 2012)

Os processos termodinâmicos fundamentais que ocorrem num sistema/circuito de refrigeração por ciclo contínuo são a evaporação, a compressão, a condensação e a expansão, sendo os componentes responsáveis por cada etapa, o evaporador, o compressor, o condensador e a válvula de expansão. (Carpinteiro, 2011) (Castro, 2011)

O compressor possibilita a circulação do fluido refrigerante por todo o circuito. O fluido no estado líquido, antes de entrar no compressor, é obrigado a vaporizar no evaporador, devendo o compressor remover o vapor formado durante este processo, através da compressão do refrigerante. De seguida, o fluido refrigerante já no estado gasoso, com elevada pressão e temperatura, entra no condensador onde perde calor e condensa. (Carpinteiro, 2011) (Castro, 2011)

É importante garantir que o fluido que entra no compressor está realmente em estado gasoso. Isto é assegurado através do aumento de entalpia que se dá durante a evaporação. (Carpinteiro, 2011) (Castro, 2011)

O fluido refrigerante líquido depois de condensado volta ao evaporador, passando por um dispositivo de expansão que provoca a queda de pressão ao expandir o fluido refrigerante. Durante este processo, verifica-se uma redução de pressão devido à não variação de entalpia. (Carpinteiro, 2011) (Castro, 2011)

Durante o processo de evaporação, ocorre a dissipação de calor, após o qual a água refrigerada sai pelo permutador para poder ser transportada para o edifício. (Carpinteiro, 2011) (Castro, 2011)

O termóstato regula a temperatura do evaporador, orientando os compressores, de forma que trabalhem quando a temperatura atinja o limite mais alto e que pare quando se atinja o limite mais baixo. (Carpinteiro, 2011) (Castro, 2011)

A Figura 8 representa um esquema de funcionamento dos principais equipamentos num *Chiller*.

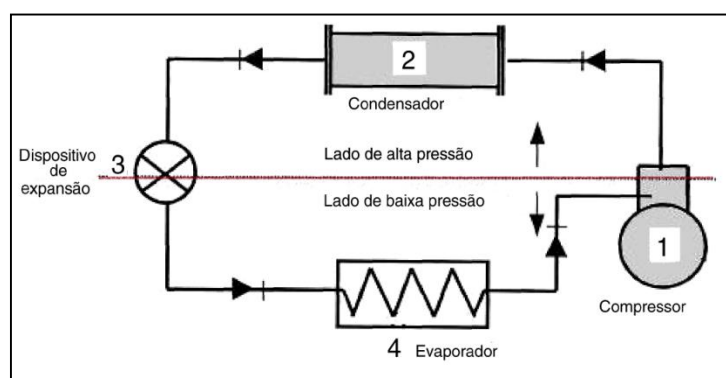


Figura 8: Sistema básico de refrigeração (Castro, 2011)

Os fluidos utilizados em *Chillers*, podem classificar-se como fluidos primários e secundários.

Os fluidos refrigerantes primários percorrem todo o sistema em ciclo contínuo, sofrendo sucessivas mudanças de estado físico, de modo a absorverem e transferirem calor latente. (Carpinteiro, 2011) (Castro, 2011)

Segundo Carpinteiro (2011) estes fluidos devem possuir características termodinâmicas, físicas e químicas como:

- A pressão de condensação deve ser tão baixa quanto possível;
- Para a temperatura de evaporação pretendida, a sua pressão deve ser ligeiramente superior à pressão atmosférica;
- Para as condições de funcionamento, a relação das pressões deve ser a menor possível;
- As pressões e temperaturas críticas devem ser muito superiores aos maiores valores de pressão e temperatura de funcionamento;
- Baixas temperaturas de descarga do compressor;
- Elevado calor latente de vaporização;
- Baixa viscosidade do líquido e do vapor;
- Ser quimicamente estável, nas gamas de temperaturas de funcionamento, relativamente ao ar, água e óleos lubrificantes;
- Elevados coeficientes de convecção do líquido e do vapor.

Devem igualmente possuir determinadas características como não serem tóxicos, inflamáveis, explosivos em contacto com o ar, nem irritantes, essencialmente por questões de segurança no caso de existir alguma fuga. Idealmente devem possuir uma baixa tendência para fugas, de modo a aumentar a eficiência do processo de refrigeração. (Carpinteiro, 2011)

Existem várias famílias de fluidos refrigerantes primários (Castro, 2011):

- CFC: Família dos clorofluorcarbonetos, que possuem os elementos cloro, flúor e carbono na sua composição. São exemplos, o R-12 e o R-11.
- HCFC: Família dos hidroclorofluorcarbonetos, que possuem os elementos hidrogénio, cloro, flúor e carbono na sua composição. São exemplos o R-22, o R-401A, o R-409a, o R-401B, o R-402A, o R-408a e o R-402B.
- HFC: Família dos hidrofluorcarbonetos, que possuem os elementos hidrogénio, flúor e carbono na sua composição. Atualmente os novos equipamentos são fabricados com HFC's. São exemplos o R-134a, o R-404a, o R-507, o R407C e o R-410A.

O índice ODP (*Ozone Depleting Potential*) é utilizado para medir o potencial que determinado fluido refrigerante tem para degradar a camada de ozono. (Castro, 2011)

Os fluidos à base de CFC foram banidos em 1996 devido ao seu elevado ODP, o que levou à necessidade de se proceder a uma substituição de forma gradual destes por fluidos refrigerantes menos poluentes, como os HCFC's. (Borges, 2014)

Na escolha de um refrigerante para um sistema frigorífico por compressão de vapor, passou a dar-se importância, não só a fatores como as propriedades termodinâmicas e a eficiência energética e económica, como também à regulamentação no que refere à utilização e limites temporais dos fluidos refrigerantes. (Borges, 2014)

No protocolo de Montreal, em Setembro de 2007, sobre as substâncias que destroem a camada de ozono, ficou decidido que os países desenvolvidos teriam de reduzir a produção e consumo de HCFC's em 90% até 2015 e em 100% até 2020. (European Comissão, 2008) (Danfoss, 2009) Deste modo, começaram a usar-se os HFC's que libertam para a atmosfera gases com menor *ODP*.

É importante salientar que os gases libertados pelos HFC's possuem outras complicações ambientais, visto verificar-se um aumento da concentração de GEE nas camadas superiores da atmosfera, que consequentemente contribui para o desenvolvimento do fenómeno do efeito de estufa (Borges, 2014). Assim, surgiu um novo padrão para classificar este fenómeno, criando-se um fator diferenciador dessas misturas, designado como fator *GWP* (*Global Warming Potential*) que representa a medida de quanto uma determinada massa de um gás, num determinado período de tempo, contribui para o aquecimento global, em comparação com a mesma massa de dióxido de carbono. Para o CO<sub>2</sub>, este valor é, por definição, unitário (Borges, 2014) (US AGENCY, 2014).

A Comunidade Europeia criou ferramentas legislativas para a redução das emissões de gases com efeito de estufa, entre esses os gases fluorados, de modo a serem aplicados os compromissos assumidos no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, do Protocolo de Quioto e do Regulamento 2002/358/CE. São exemplos o Regulamento n.º 842/2006CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de Maio, revogado recentemente pelo Regulamento n.º 517/2014UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Abril, que entrará em vigor a partir de 1 de Janeiro de 2015 e a Diretiva 2006/40/CE do Parlamento Europeu. (Borges, 2014) (APA, 2006) Este conjunto de legislação refere a necessidade de restrição na utilização dos fluidos com *ODP* e *GWP* superiores a determinados níveis, assim como a importância da prevenção de fugas durante o funcionamento do sistema e durante a mudança para outro refrigerante, aplicando requisitos específicos aos fluidos com um *GWP* igual ou superior a 150. (EUR-Lex, 2006)

A versão mais recente do regulamento sobre os gases fluorados (Regulamento n.º 517/2014UE) obriga a redução progressiva de utilização de HFC's. Os valores de *GWP* considerados nos diferentes fluidos refrigerantes são indicados no Anexo I do Regulamento n.º 842/2006CE. (Borges, 2014)

A possibilidade de taxação ou oneração fiscal na utilização de HFC's, sustentada no conceito da oneração fiscal dos impactos ambientais, está a surgir em muitos países, inclusive nos Europeus onde, ao contrário do que ocorre em Portugal, a aplicação de taxas com este propósito já se encontra implementada. (Borges, 2014)

Os fluidos refrigerantes secundários absorvem e transferem calor sensível, visto que são utilizados para transportar o calor do edifício e transferi-lo para o fluido refrigerante primário. Os mais utilizados são a água, soluções de sais inorgânicos ou anticongelantes.

O fluido refrigerante secundário circula pelo edifício através de eletrobombas e no permutador, dá-se a permuta térmica entre o refrigerante primário e o secundário. A água é um dos melhores fluidos secundários para condições climáticas como as de Portugal. (Carpinteiro, 2011)

Os ciclos de refrigeração, isto é, ciclos termodinâmicos de fluidos refrigerantes são representados em diagramas p-h (pressão-entalpia), também designados diagramas de *Mollier*, que são utilizados para o estudo do seu comportamento. A entalpia é uma propriedade que indica a quantidade de energia térmica presente numa determinada massa de uma substância. Esta aumenta quando o fluido refrigerante absorve energia (calor) e vice-versa. (Castro, 2011)

O ciclo simples exemplificativo de um processo de refrigeração por compressão de vapor está representado na Figura 9, num diagrama p-h.

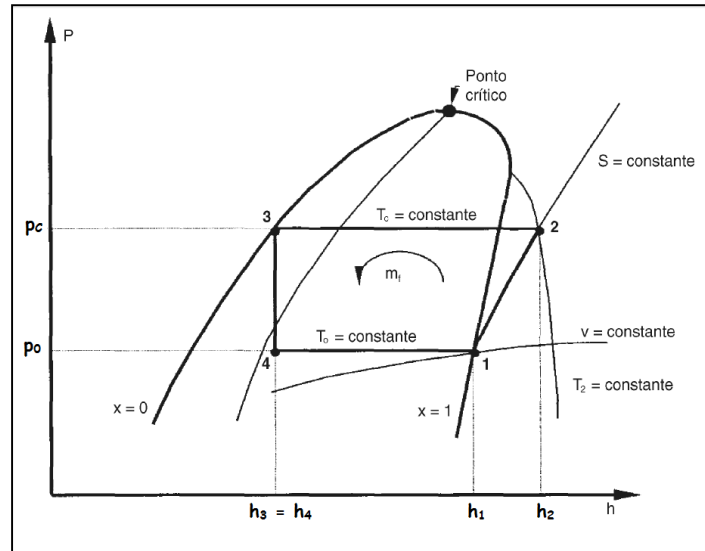


Figura 9: Diagrama pressão-entalpia (circuito teórico) (Castro, 2011)

Na Figura 9, estão representados no diagrama p-h, os processos termodinâmicos que constituem o circuito teórico (nos respetivos equipamentos). (Castro, 2011) São eles:

- **Processo 1 → 2 - Compressor**

O fluido refrigerante entra no compressor à pressão do evaporador,  $p_0$ , e é então comprimido até atingir a pressão de condensação ( $p_c$ ), onde se encontra sobreaquecido (com temperatura superior à temperatura de condensação).

- **Processo 2 → 3 - Condensador**

O fluido refrigerante é arrefecido até à temperatura de condensação e, a seguir, condensado até se tornar em líquido saturado. É um processo de rejeição de calor do fluido refrigerante para o meio de arrefecimento (água ou ar) a pressão constante (isobárico).

- **Processo 3 → 4 - Dispositivo de laminagem**

Dá-se o processo de expansão irreversível do fluido refrigerante, num processo a entalpia constante (isentrópico), desde o estado líquido saturado com pressão igual à de condensação, até a pressão de vaporização ( $p_0$ ).

- **Processo 4 → 1 - Evaporador**

Dá-se a evaporação do fluido, num processo de transferência de calor a pressão constante (isobárico), consequentemente a temperatura constante, desde o vapor húmido no estado 4 até atingir o estado de vapor saturado seco (estado 1).

A Figura 10 apresenta uma comparação entre o circuito real e o teórico.

É possível observar que, no circuito real, existem perdas de carga e quedas de pressão que ocorrem nas linhas de descarga, de líquido e de sucção. Quanto maior for o comprimento da linha de sucção (ou aspiração), maiores serão as perdas de carga.

Outra característica do circuito real é o facto de ocorrer o subarrefecimento do fluido refrigerante à saída do condensador ( $3 \rightarrow 3'$ ) e o sobreaquecimento na linha de sucção ( $1 \rightarrow 1'$ ) (Castro, 2011) (Bitzer Compressores Ltda, 2008).

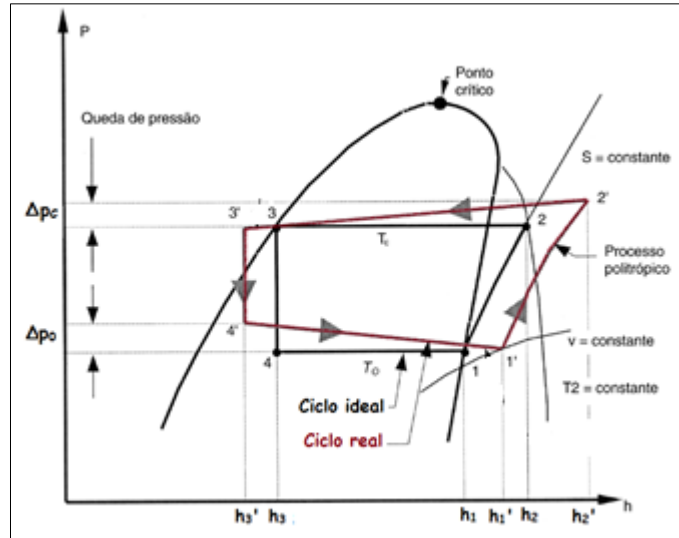


Figura 10: Diagrama pressão-entalpia (ciclo ideal e ciclo real) (Castro, 2011)

O sobreaquecimento simboliza o calor extra absorvido pelo gás refrigerante, quando este passa na zona final do evaporador e na linha de sucção entre o evaporador e o compressor. O calor mecânico devido ao aquecimento do compressor contribui ainda mais para o aumento da temperatura, pelo que a temperatura no ponto 2' é superior à temperatura de saturação. Posteriormente, no tubo de descarga do compressor e nos primeiros circuitos do condensador, o gás sobreaquecido é arrefecido para a temperatura de saturação. (Bitzer Compressores Ltda, 2008)

O subarrefecimento ocorre à saída do condensador, onde o refrigerante já em estado líquido é arrefecido a uma temperatura inferior à temperatura de condensação. Isto permite que na válvula de expansão entre um líquido a baixa temperatura (subarrefecido), evitando-se a eventual evaporação de líquido entre o condensador e a VET. Esta válvula, para além de baixar a pressão, controla a temperatura de evaporação, o sobreaquecimento e a quantidade de líquido refrigerante necessária para compensar as variações de carga térmica no evaporador. (Bitzer Compressores Ltda, 2008)

Na Figura 11 estão representadas as potências que ocorrem no processo de produção de frio pelo *Chiller*. É possível observar que é necessária potência elétrica, potência mecânica e potência frigorífica para que a temperatura da água em circulação na unidade (*Chiller*) possa ser reduzida.

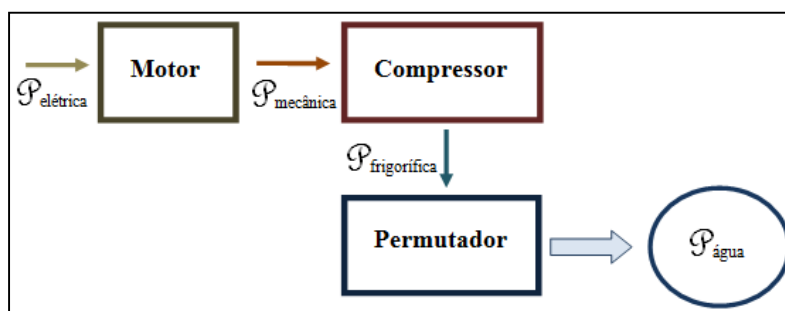


Figura 11: Potências envolvidas no circuito frigorífico

De seguida são representadas as equações utilizadas para o cálculo das potências referidas na Figura 11, potência elétrica, mecânica e frigorífica, respetivamente.

$$P_{elétrica}[W] = \sqrt{3} \times U_c \times I \times \cos\varphi \quad (1)$$

Considerando um sistema trifásico, equilibrado e simétrico,  $P_{elétrica}$  representa a potência elétrica,  $U_c$  indica a tensão composta (entre fases) [V],  $I$  a corrente [A] e  $\cos\varphi$  o fator de potência.

$$P_{mecânica}[W] = P_{elétrica} \times \eta_{motor} \quad (2)$$

Em que  $P_{mecânica}$  representa a potência mecânica e  $\eta$  o rendimento do motor.

$$P_{frigorífica} = P_{th_{H_2O}}[W] = q_{H_2O} \times cp_{H_2O} \times (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Em que  $P_{th_{H_2O}}$  representa a potência térmica,  $q_{H_2O}$  o caudal mássico [kg/s],  $cp_{H_2O}$  o calor específico da água [J/kgK] e  $(T_2 - T_1)$  a diferença de temperaturas à entrada e saída do permutador [K].

$$COP = \frac{P_{frigorífica}[W]}{P_{elétrica}[W]} \quad (4)$$

Em que COP representa o *coefficient of performance*.

### 2.1.2 Caldeira

A caldeira faz parte de um sistema de aquecimento central e tem como principais objetivos, o aumento da temperatura do ar interior de um edifício e a redução da humidade relativa do ar, de forma a proporcionar conforto térmico aos ocupantes do edifício, independentemente das condições atmosféricas exteriores (Carpinteiro, 2011).

Segundo o RSECE, recentemente revogado pelo RECS, a temperatura de referência para um edifício de serviços é de 20°C, no inverno, e de 25°C, no verão, contribuindo estas para aumentar a sensação de conforto térmico dos ocupantes. (Carpinteiro, 2011) (Carlos Santos e Luís Matias, 2012)

A caldeira para além de servir para climatização dos espaços interiores de um edifício, pode também efetuar o aquecimento de águas quentes sanitárias (A.Q.S.), diretamente ou através de um acumulador, conforme a caldeira possua um acumulador interno ou externo. (Carpinteiro, 2011)

As caldeiras são classificadas quanto à sua capacidade, temperatura e pressão de funcionamento e quanto ao tipo de combustível utilizado. Estas podem ser, no caso de baixas potências, murais convencionais ou de condensação ou, para o caso de potências superiores, caldeiras de chão a gás ou a gasóleo. (Babcock & Wilcox Co., 2007)

Podem utilizar dois tipos distintos de combustível para queima: gás (usualmente gás natural ou propano) ou gasóleo. O calor produzido é controlado pelos queimadores e transportado para todo o edifício através de circulação forçada (por bombas) de água que circula em tubagens (Carpinteiro, 2011).

Para uma eficiente apreciação energética é importante, não só o tipo de caldeira, como também o tipo de queimador, visto que a sua posição pode ser fixa ou regulável, influenciando assim a eficiência média de queima. (Carpinteiro, 2011)

A operação da caldeira é monitorizada por reguladores de controlo, também chamados reguladores controladores, que são um complemento aos aparelhos de comando e regulação. Podem ser termóstatos, pressóstatos, relógios temporizadores, entre outros, e permitem controlar o arranque, temperatura e pressões de funcionamento da caldeira. Muito importante é também a existência de purgadores nas tubagens de circulação de água quente (Carpinteiro, 2011).

A inspeção de uma caldeira é importante quer em termos de eficiência do processo de combustão, quer em termos de segurança das instalações, materiais e utilizadores do espaço. Como tal, deve ser realizada uma inspeção visual que indentifique previamente os eventuais problemas existentes, como fugas ou deteriorização dos materiais constituintes, ou outros derivados da falta ou inexistência de manutenção.

Essencialmente nas caldeiras com maior potência, a inspeção deve também abranger a verificação de temperaturas de funcionamento, análise de rendimento de combustão e da razão estequiométrica. (Carpinteiro, 2011)

Para avaliar o desempenho energético de determinada caldeira, devem ser estudados os consumos de combustível, de água, assim como perdas de calor pela envolvente, montagem e regulação dos equipamentos de controlo e níveis de potência da caldeira. (Carpinteiro, 2011)

Designa-se por combustão completa quando na queima de um hidrocarboneto (gás natural, petróleo, entre outros) se produz apenas dióxido de carbono, água e calor. Se houver pouco oxigénio ou a mistura entre o combustível e o oxigénio for pobre, irá ocorrer uma combustão incompleta que resulta na produção de uma mistura que contém monóxido de carbono e combustível não queimado. Neste caso, a energia química do combustível não é completamente libertada como calor e a eficiência da combustão é inferior.

Por questões de segurança, é importante que a combustão seja o mais completa possível. Para garantir uma combustão completa, é possível introduzir uma pequena e equilibrada quantidade de excesso de ar, que irá consequentemente garantir um aumento da eficiência do processo de combustão, como é possível verificar na Figura 12. (Babcock & Wilcox Co., 2007)

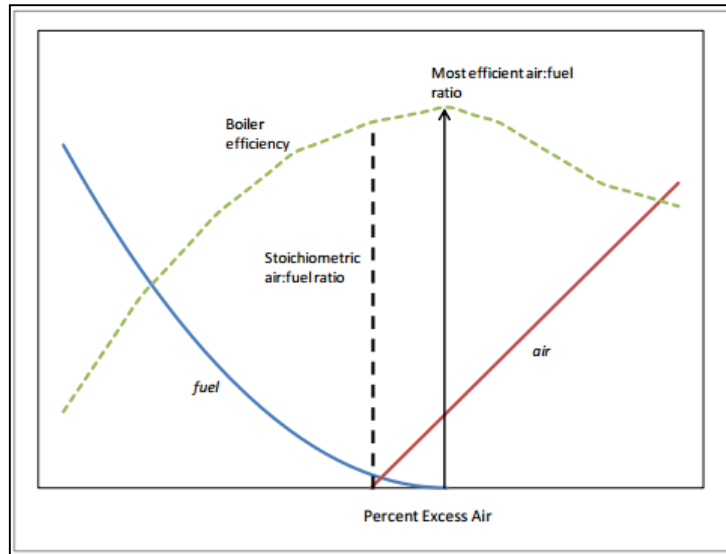


Figura 12: Eficiência de combustão vs. Excesso de ar (Babcock & Wilcox Co., 2007)

Para garantir a eficiência do processo de conversão de energia química em energia térmica, resultante da queima do combustível, é crucial que a maior parte do calor libertado no processo de combustão seja transferido para o fluido de trabalho (normalmente a água). O calor que não é transferido constitui uma perda de calor. Para aferir a transferência de calor e a eficiência do processo, usualmente utiliza-se como indicador, a temperatura dos gases de combustão. (Babcock & Wilcox Co., 2007)

Na Figura 13 estão representados os processos que ocorrem na produção de calor através da queima de gás propano pela caldeira.

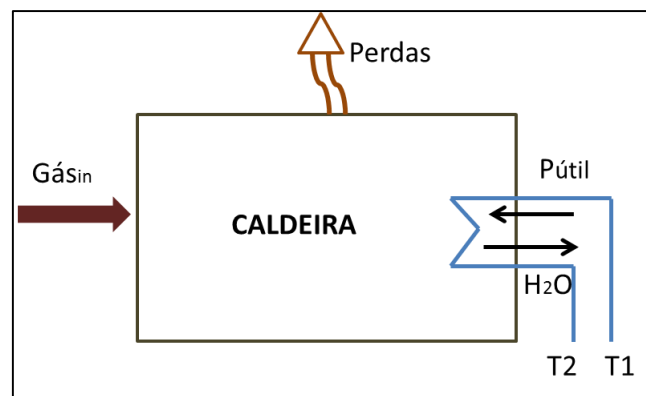


Figura 13: Principais processos de produção de calor numa caldeira

De seguida são representadas as equações utilizadas para o cálculo das potências inerentes aos processos representados na Figura 13, potência calorífica do gás, potência útil e potência térmica da água, respetivamente.

$$P_{gás_{in}}[W] = q_{gás} \times H \quad (5)$$

Em que  $P_{gás_{in}}$  representa a potência calorífica do gás,  $q_{gás}$  o caudal mássico de gás utilizado [kg/s] e  $H$  a entalpia [J/kg].



$$P_{H_2O}[W] = P_{gás_{in}} \times \eta \quad (6)$$

Em que  $P_{H_2O}$  representa a potência fornecida à água, e  $\eta$  o rendimento da caldeira.

$$P_{th_{H_2O}}[W] = q_{H_2O} \times cp_{H_2O} \times (T2 - T1) \quad (7)$$

Em que  $P_{th_{H_2O}}$  representa a potência térmica útil,  $q_{H_2O}$  o caudal mássico de água utilizado [kg/s],  $cp_{H_2O}$  o calor específico da água [J/kgK] e  $(T2-T1)$  a diferença entre a temperatura da água produzida e a temperatura inicial [K].

### 2.1.3 Ventilação

Os principais tipos de unidades ventiladoras encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Características técnicas e aplicações de unidades ventiladoras (Carpinteiro, 2011)

Tipos de unidades	Características técnicas	Aplicações
Unidade de ventilação (VE)	Caixa de ventilação com ou sem filtragem de ar	Arejamento, insuflação e exaustão
Unidade de termoventilação (UTV)	Caixa de ventilação com filtragem de ar e bateria de aquecimento	Aquecimento
Unidade de tratamento de ar (UTA)	Caixa de ventilação com filtragem de ar e baterias de aquecimento e de arrefecimento	Climatização

#### Unidades de tratamento de ar

As unidades de ventilação são equipamentos cujas principais funções são a renovação e o tratamento do ar. (Carpinteiro, 2011).

Uma unidade de tratamento de ar consiste numa caixa de metal que contém um ventilador mecânico, baterias de aquecimento e arrefecimento, elementos de filtragem, atenuadores de ruído, grelhas de admissão e de saída de ar e *dampers* (registro para regular o caudal de ar). Estas unidades, através das baterias de aquecimento e arrefecimento, podem fornecer ar quente, frio ou ambos, consoante o pretendido (Carpinteiro, 2011) (Couras, 2011).

Existem três principais variantes dos dispositivos de tratamento de ar. São eles, unidades de tratamento de ar (UTA), que efetuam o tratamento do ar resultante da mistura de ar novo com ar recirculado ou apenas de ar recirculado, unidades de tratamento de ar novo (UTAN) que utilizam exclusivamente ar novo, não aproveitando qualquer ar recirculado e unidades de termoventilação (UTV) que renovam e aquecem o ar dos locais a climatizar (Carpinteiro, 2011) (Administração Central do Sistema de Saúde, 2008).

Para a realização da mistura entre ar novo e ar recirculado, as UTAs possuem um módulo de mistura equipado com grelhas que controlam a razão da mistura. As UTANs nunca são equipadas com um módulo de mistura, uma vez que apenas utilizam ar novo. (Administração Central do Sistema de Saúde, 2008)

O ar primário que circula pelo edifício é introduzido nos espaços a climatizar através de grelhas ou difusores, com a finalidade de remover a carga térmica dos locais. Este ar é constituído por ar novo, ar recirculado ou resultado de uma mistura entre os dois. O ar novo é utilizado com o intuito de satisfazer as necessidades de ventilação, já o ar recirculado tem um objetivo claro de eficiência energética e também de regulação da humidade. (Carpinteiro, 2011)

O ar que é extraído dos locais climatizados é posteriormente devolvido às unidades de tratamento de ar. (Carpinteiro, 2011)

As UTAs são compostas por uma secção de entrada de ar, filtros, módulos de aquecimento e arrefecimento e um grupo moto ventilador. (Carpinteiro, 2011)

Estas podem facilmente introduzir contaminantes no ar interior dos locais a climatizar, que podem alojar-se nas serpentinas de arrefecimento e condensação ou nos tabuleiros de condensados. (Carpinteiro, 2011)

Os tabuleiros de condensados devem ser de inox, ter alguma inclinação e ligação direta ao sistema de escoamento. (Carpinteiro, 2011)

Os contaminantes formam-se quando existe um meio aquoso estagnado e com elevada temperatura, pelo que uma solução preventiva consiste em colocar em movimento a água no tabuleiro e a uma temperatura baixa. O correto dimensionamento dos sistemas de drenagem e a limpeza dos filtros e das serpentinas são dos factores mais importantes para a prevenção de contaminantes (Carpinteiro, 2011).

Os contaminantes existentes são normalmente prejudiciais à saúde humana. São exemplos as bactérias *Staphylococcus sp* e *Legionella pneumophyla* e o fungo *Penicillium sp* (Elizabeth Cartaxo, 2007).

Por exemplo, a bactéria legionela é muito comum em sistemas AVAC e aloja-se fundamentalmente nas unidades de tratamento de ar, essencialmente na estação de aquecimento, uma vez que as temperaturas da água são ótimas para o seu desenvolvimento. Deste modo, é aconselhável que a temperatura da água seja inferior a 20°C ou superior a 60°C, para impedir a presença deste tipo de contaminantes (Rodrigues, 2013).

A filtragem do ar é fundamental de modo a ser possível remover contaminantes provenientes do ar exterior, para a proteção dos equipamentos e redução energética (Ramos, 2011). Os filtros são responsáveis pela remoção de pequenas partículas existentes no ar, constituindo uma barreira física aos contaminantes. (Carpinteiro, 2011).

Os filtros podem classificar-se de acordo com a eficiência de filtragem, podendo ser de pré-filtragem, de filtragem fina e de filtragem absoluta, estando inseridos na classe HEPA (*high efficiency particulate air*) e ULPA (*ultra low penetration air*) da norma EN 1822 (Carpinteiro, 2011).

Podem também ser classificados de acordo com o rendimento gravimétrico médio, podendo ser filtros grossos, filtros médios ou filtros finos, com perdas de carga de 250Pa (filtros grossos) e 450Pa (filtros médios e finos) (Ramos, 2011).

Quanto às baterias de aquecimento, podem ser de dois tipos, compostas por alhetas em alumínio e tubos em cobre ou por resistências elétricas. Já as baterias de arrefecimento podem ser compostas por tubos em cobre fortemente alhetados com finas lâminas de alumínio, onde o fluido (água gelada) circula no seu interior, ou por expansão direta com um fluido refrigerante.

Nestas, o ar é aquecido ou arrefecido através da circulação de água quente ou fria produzida normalmente por equipamentos produtores de calor como caldeiras e por equipamentos produtores de frio como *Chillers*, respetivamente.

No grupo motoventilador, o ventilador é normalmente do tipo centrífugo e pode funcionar com velocidade fixa ou variável (possibilitando uma ampla gama de caudais). O motor a ele acoplado é geralmente elétrico e funciona com corrente alterna. (Carpinteiro, 2011)

Quanto ao ruído, devem ser utilizados painéis duplos ou atenuadores de som (Carpinteiro, 2011).

As unidades de tratamento de ar constituem, na maior parte dos casos, um dos maiores responsáveis pelo consumo de energia elétrica dos edifícios, sendo por isso muito bastante importante a otimização das suas características funcionais (Carpinteiro, 2011).

#### Unidades de ventilação

As unidades de ventilação possuem diferentes características e as principais aplicações são a insuflação e exaustão dos locais. Estas são dispositivos compostos por uma caixa metálica na qual está montado um ventilador e podem ou não possuir sistema de filtragem de ar. (Carpinteiro, 2011)

Um ventilador é um equipamento com um elemento rotativo que gira em torno do próprio eixo e um motor. Proporciona um caudal variável em função da pressão de carga a superar.

Existem vários tipos de ventiladores que podem ser axiais/helicoidais, centrífugos ou heliocentrífugos. Os axiais são usados em locais pouco poluídos, são económicos e de baixo nível de ruído e atingem pressões elevadas e caudais limitados. Os centrífugos podem ser de baixo, médio ou elevado caudal e dividem-se em ventiladores de cobertura e *in-line*. Os heliocentrífugos são utilizados para uma trajetória do ar intermédia entre os restantes tipos de ventiladores, para além de apresentarem pressão e caudal intermédios. (Carpinteiro, 2011)

Quanto ao princípio de funcionamento, podem ser de insuflação, de extração ou insufladores e extratores *in-line*. (Carpinteiro, 2011)

### **2.1.4 Sistema de distribuição**

#### Sistema de condicionamento/distribuição

Os sistemas de distribuição podem ser classificados quanto ao tipo de instalação do equipamento, ou seja, quanto à localização dos equipamentos de produção de calor e de frio, inerentes aos sistemas. Podem ser sistemas individualizados, centralizados ou semicentralizados. (Carpinteiro, 2011)

Os sistemas individualizados são pouco utilizados em grandes edifícios devido à sua reduzida capacidade de climatizar grandes espaços. São constituídos por equipamentos de produção de calor ou de frio individuais e compactos e utilizam um método de expansão direta de um fluido refrigerante (Carpinteiro, 2011)

Existem dois tipos de sistemas, o unitário em que o evaporador e o condensador estão montados numa base comum e o sistema autónomo (*split*) que tem uma unidade no interior do espaço a climatizar e outra no exterior. (Carpinteiro, 2011)

Os sistemas individuais autónomos (sistemas *split*) são simples, climatizam apenas um espaço e possuem um COP (*coefficient of performance*) muito baixo, razões pelas quais evoluíram para os *multi-split* (possibilitam várias unidades interiores para apenas uma exterior) (Toshiba air conditioning, 2011).

Um sistema centralizado tem como objetivo servir a totalidade (ou a maior parte) do edifício. Neste sistema, os equipamentos de produção de frio e de calor são independentes e estão situados em locais distintos dos espaços a climatizar, numa zona técnica, normalmente situada na cobertura do edifício e de acesso restrito ao pessoal técnico. (Carpinteiro, 2011) (Chaves, 2009)

Este tipo de sistema deve possuir um *software* de gestão técnica centralizada que permita controlar e programar arranques e paragens dos equipamentos (Couras, 2011), assim como assegurar o correto funcionamento destes, através da visualização de temperaturas, pressões, acionamento de válvulas, entre outros.

Os sistemas semicentralizados são sistemas modulares, ou seja, utilizam um volume de refrigerante variável (VRV) e apenas existe um circuito, visto que o refrigerante primário se desloca até aos locais a climatizar (Chaves, 2009). Estes surgiram posteriormente aos sistemas individuais tipo *split* e são mais avançados e eficientes. Para além de possibilitarem várias unidades interiores, permitem que sejam aquecidos ou arrefecidos vários locais em simultâneo, sendo por esta razão denominados sistemas semicentralizados. Possuem também um melhor COP, quando comparados com os sistemas individuais (Toshiba air conditioning, 2011).

Os sistemas de condicionamento de ar centralizados são ainda classificados de acordo com o fluido ou tipo de fluidos que se empregam nos equipamentos terminais. Podem ser sistemas tudo ar, tudo água, ar-água ou sistemas com expansão direta de um fluido refrigerante (Carpinteiro, 2011) (Chaves, 2009).

Nos sistemas tudo ar, como o próprio nome indica, ocorre a remoção da carga térmica dos espaços climatizados através da distribuição de ar que pode ocorrer em percurso simples ou duplo. O sistema de climatização possui unidades produtoras de água fria e de água quente, assim como unidades de tratamento do ar.

Existem três tipos de sistemas tudo ar, são eles: a volume de ar constante (caudal de ar a fornecer é constante), a volume de ar variável ou a volume e temperatura variável (Chaves, 2009).

Estes sistemas são mais baratos e simples de controlar, porém possuem limitações no que diz respeito ao tratamento de ar de diversos locais em simultâneo. (Carpinteiro, 2011)

Nos sistemas tudo água, a água fria ou quente é distribuída pelas unidades terminais (ventiloconvectores ou *fan-coils*), de acordo com as necessidades reais de arrefecimento ou de aquecimento dos espaços. A distribuição pode ser realizada a dois, três ou quatro tubos.

Não necessita de muito espaço de tubagens, porém o principal problema consiste no facto do controlo da humidade praticamente não ser efetuado e de não existir renovação do ar. (Carpinteiro, 2011)

Os sistemas água-ar são os mais completos e complexos. A renovação de ar é assegurada pelo sistema ar e o fornecimento de frio ou calor controlado pelo sistema água. As unidades terminais utilizadas nos espaços a climatizar, podem ser ventiloconvectores, painéis radiantes ou unidades de indução. A distribuição só pode ser feita a dois ou quatro tubos. (Carpinteiro, 2011)

Nos sistemas com expansão direta de um fluido refrigerante, o princípio de funcionamento é semelhante ao sistema tudo água, porém na tubagem circula um fluido refrigerante e não água. Podem existir diversos equipamentos com este efeito, por exemplo as unidades *split*, os sistemas *multi-split* e as unidades VRV *inverter* (volume refrigerante variável). A principal vantagem consiste em ser aproveitado o calor latente do local, necessitando de um caudal de fluido refrigerante mais reduzido, no entanto, não existe renovação do ar e o controlo da humidade revela-se ineficiente. (Carpinteiro, 2011)

O acionamento hidráulico da água que circula nas tubagens é controlado localmente por válvulas de vários tipos, na sala técnica do AVAC. Possui vantagens como a capacidade de velocidade variável através de válvulas reguladoras de fluxo, reversibilidade e possibilidade de interrupção instantânea através de válvulas direcionais, proteção contra sobre carga através da válvula de segurança ou limitadora de pressão e dimensões reduzidas. (Monteiro, 2009)

As válvulas de manobra e segurança podem ser de seccionamento, descarga ou purga, retenção ou ventosas. Já as válvulas de regulação e controlo, classificam-se como redutoras de pressão, de controlo de caudal ou de nível. (Monteiro, 2009)

As válvulas de retenção devem localizar-se imediatamente a jusante de cada grupo eletrobomba e servem para reter a água sem evitar a inversão do escoamento. (Monteiro, 2009)

As válvulas possuem dois componentes, o corpo da válvula e o circuito piloto associado. Muitas vezes a mesma válvula (corpo mecânico) é usada com diferentes circuitos pilotos consoante a função pretendida. (Monteiro, 2009)

### Bombas hidráulicas

Em hidráulica, um fluido é um líquido capaz de transmitir energia como óleos minerais, fluidos sintéticos ou água. As principais funções do fluido hidráulico são a transmissão de energia, lubrificação de peças móveis, dissipação do calor e limpeza do sistema. (IFSC, 2009)

A viscosidade representa a resistência de determinado fluido ao escoamento e é uma das características mais importantes de um fluido hidráulico. (IFSC, 2009)

As bombas hidráulicas são utilizadas para converter energia mecânica em energia hidráulica. São constituídas por um motor elétrico que é responsável pela conversão de energia elétrica em movimento mecânico rotativo, um acoplamento que transfere esse movimento e uma bomba hidráulica que converte energia mecânica rotativa em fluxo hidráulico. (IFSC, 2009)

Podem ser classificadas como sendo hidrostáticas em que a saída do fluido é independente da pressão, ou hidrodinâmicas em que se verifica uma resistência à passagem de fluido. (IFSC, 2009)

Na Figura 14 estão representadas as potências postas em jogo para o funcionamento das bombas hidráulicas. É necessária potência elétrica ( $P_1$ ) para obter-se potência mecânica ( $P_2$ ) para que a água circule pelo sistema de distribuição.

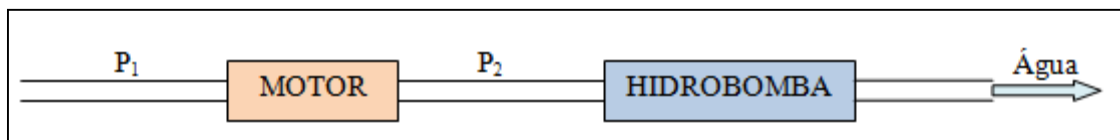


Figura 14: Representação das potências envolvidas no trabalho de uma hidrobomba

$$P_1 [W] = \sqrt{3} \times U_c \times I \times \cos \varphi \quad (8)$$

Considerando uma sistema trifásico, simétrico e equilibrado,  $P_1$  representa a potência elétrica,  $U_c$  indica a tensão composta (entre fases) [V],  $I$  a corrente [A] e  $\cos \varphi$  o fator de potência.

$$P_2[W] = P_1 \times \eta_{motor} = \omega \times \tau \quad (9)$$

Em que  $P_2$  representa a potência mecânica no veio,  $\eta_{motor}$  o rendimento do motor elétrico,  $\omega$  a velocidade angular [r.p.m.] e  $\tau$  o binário [Nm].

$$P_{\text{água}}[W] = q_{H_2O} \times \Delta h \times g = P_2 \times \eta_{hidrobomba} \quad (10)$$

Em que  $P_{\text{água}}$  representa a potência associada ao caudal mássico de água em movimento para ser elevado de uma altura  $\Delta h$ ,  $q_{H_2O}$  o caudal mássico de água [kg/s],  $\Delta h$  a altura manométrica da hidrobomba,  $g$  a aceleração da gravidade [ $m/s^2$ ] e  $\eta_{hidrobomba}$  o rendimento da hidrobomba.

$$\eta_{total} = \eta_{motor} \times \eta_{hidrobomba} \quad (11)$$

$$\ll \text{mínimo} \left\{ \begin{matrix} \eta_{motor} \\ \eta_{hidrobomba} \end{matrix} \right\} \quad (12)$$

O rendimento total é dado pelo produto entre o rendimento do motor, assim o rendimento global é sempre inferior ao rendimento individual de cada equipamento.

### Unidades ventiloconvectoras

As unidades terminais de tratamento de ar (ventiloconectores) são destinadas a uso local e podem apenas incluir um filtro de ar, uma serpentina e um ventilador. (Administração Central do Sistema de Saúde, 2008)

Estas encontram-se nos locais a climatizar, normalmente gabinetes ou espaços reduzidos e são constituídas por um ventilador e respetivo motor, filtro e uma ou duas baterias. Podem estar montadas horizontalmente no teto falso ou verticalmente junto a uma parede, apoiadas no chão. (Carpinteiro, 2011)

Nos ventiloconectores, os processos que se podem verificar são filtração, arrefecimento ou aquecimento (podem ocorrer numa só bateria ou em baterias separadas) e desumidificação do ar, seguidos da distribuição do mesmo no espaço pretendido. (Carpinteiro, 2011)

O ventilador existente num ventiloconvector tem como função a mistura de ar primário com o ar de recirculação, seguida da distribuição de ar no local. Outra possível situação ocorre quando não há mistura no ventiloconvector entre o ar primário e o ar recirculado, sendo o aparelho responsável apenas pela movimentação do ar de recirculação que é aquecido ou arrefecido, consoante a temperatura da água que lá chega. (Carpinteiro, 2011)

## **2.2 Enquadramento legislativo**

O âmbito legislativo deste trabalho foca um grande edifício de serviços (GES), uma vez que o caso em estudo possui uma área útil superior a 1000 m<sup>2</sup> (Martins, 2008), encontra-se deste modo no âmbito do RECS, pelo que se explora esse Regulamento, bem como o que o precedeu, o RSECE, enquadrado no Sistema de Certificação Energética (SCE). Notar ainda que o RECS entrou em vigor em dezembro de 2013, pelo que parte da abordagem ainda assenta na regulamentação anterior, altura em que este trabalho se iniciou.

O RCCTE e REH encontram-se fora do âmbito do desempenho energético do edifício em estudo, pelo que não serão abordados.

O pacote legislativo de 2006 (SCE, RSECE, RCCTE) transpõe a diretiva EPBD, 2002/91/CE de Desempenho Energético dos Edifícios. A revisão do EPBD de 2010 levou à necessidade da criação, em 2013, de um Decreto-Lei conjunto para todas as tipologias de edifícios existentes, que inclui o SCE, REH e RECS (Decreto-Lei 118/2013). (Fragoso, 2013)

De seguida é apresentado um quadro resumo da legislação dos últimos anos, no âmbito do desempenho energético dos edifícios, que será apresentada adiante.

Tabela 2: Quadro resumo da legislação (edifícios) (Fragoso, 2013)

Decreto-Lei	Nome	Descrição
40/1990	RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
118/1998	RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
78/2006	SCE	Sistema de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior nos Edifícios
79/2006	RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
80/2006	RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
118/2013	SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
	REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
	RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

### DL 78/2006

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), divulgado no DL n.º 78 de 4 de Abril de 2006, pretendeu o aumento da eficiência energética e da utilização de energias renováveis, assim como a qualidade do ar interior dos edifícios. Neste âmbito, foi então verificado o cumprimento dos requisitos regulamentares aplicáveis e certificado o desempenho energético, de forma a poderem ser aplicadas medidas corretivas ou melhorativas. (ADENE, 2008)

A entidade gestora do sistema de certificação energética é a Agência para a Energia - ADENE, que assegura o regular funcionamento do mesmo. Segundo esta agência, os principais objetivos deste Decreto-lei eram (ADENE, 2008):

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

As normas técnicas presentes na legislação do sistema de certificação energética e da qualidade do ar interior para os grandes edifícios de serviços, constavam do RSECE e do RCCTE e eram aplicáveis à totalidade dos edifícios. (ADENE, 2008)

O SGE de 2006 indicava a obrigatoriedade de certificação energética dos edifícios (Martins, 2008). Segundo a ADENE, este processo consistia na verificação das condições de conforto térmico, qualidade do ar interior, assim como da satisfação das necessidades de água quente sanitária, com o mínimo dispêndio possível de energia (ADENE, 2008).

Building Energy Performance		As built
Space to make reference to the certification scheme used		Asset rating
<p>Very energy efficient</p> <p>A B C D E F G</p> <p>Not energy efficient</p>		C
Name of the indicator used	Unit	calculated
		130
Space to include additional information on building energy use		

Figura 15: Formato de um certificado energético segundo EN 15217

### DL 79/2006

No primeiro RSECE (Decreto-Lei 118/1998), observou-se um aumento significativo dos consumos de energia no setor dos edifícios ao longo dos anos e, pelo facto deste Decreto não ser obrigatório na fase de licenciamento dos novos edifícios, não era utilizado em muitos dos casos. (Carpinteiro, 2011)

O Decreto-Lei nº 79 de Abril de 2006 impôs restrições ao nível do dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização. Foi definido que os sistemas de climatização abrangidos pelo RSECE tinham de dispor de meios de registo de consumo de energia (Carpinteiro, 2011).

Deste modo, de acordo com o Decreto-Lei em estudo (RSECE 2006), foram revistos os objetivos principais de (Carpinteiro, 2011):

- Definir os requisitos regulamentares no que se refere às condições de conforto térmico e de higiene;
- Aumentar a aplicação de medidas de eficiência energética nos edifícios, relativamente não só aos consumos do sistema de climatização, como também a outros sistemas consumidores de energia;
- Monitorizar a manutenção e funcionamento dos equipamentos e sistemas de climatização, essencialmente com o intuito de assegurar a eficiência energética e a qualidade do ar interior dos edifícios.

Segundo esse mesmo DL, o RSECE aplica-se a pequenos edifícios de serviços com potência instalada superior a 25 kW, grandes edifícios de serviços com área útil superior a 1000 m<sup>2</sup> e novos edifícios de qualquer tipo (residencial ou de serviços) com uma potência instalada superior a 25 kW. (Carpinteiro, 2011)

Este estabeleceu também a obrigatoriedade de utilização de um sistema de produção térmica centralizado para potências instaladas superiores a 100 kW. Condicionou também a instalação de sistema individuais tipo *split*, permitindo apenas 12 kW de potência instalada de ar condicionado por edifício ou fração autónoma (Carpinteiro, 2011).

Relativamente aos sistemas de monitorização e de gestão de energia, o Artigo 16.º obriga a que (Carpinteiro, 2011):

- Instalações com potência instalada superior a 100 kW possuam um sistema de monitorização;
- Instalações com potência instalada superior a 200 kW possuam um sistema de gestão de energia;
- Instalações com potência instalada superior a 250 kW sejam dotadas com um sistema de gestão de energia, com possibilidade de otimização centralizada da sua parametrização.



O RSECE refere a obrigatoriedade de existirem planos de manutenção. Indica também que as zonas técnicas devem possuir espaço suficiente para a realização de tarefas de manutenção ou resolução de avarias (Carpinteiro, 2011).

### **DL 118/2013**

Com a entrada em vigor deste Decreto-Lei são revogados os seguintes diplomas: DL n.º 78/2006 (SCE), DL n.º 79/2006 (RSECE) e DL n.º 80/2006 (RCCTE).

Este diploma pretende trazer melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação da legislação, ao incluir num único diploma, o SCE, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (Ministério da economia e do emprego, 2013).

O âmbito de aplicação deste Decreto, através do Artigo 3.º, faz um enquadramento legal de todas as tipologias de edifícios, novos, sujeitos a grande intervenção, de comércio e serviços, públicos e todos os que entrem em processo de venda ou arrendamento. Este vai ainda ao encontro da metodologia dos NZEB com o objetivo de se atingirem baixas necessidades energéticas, recurso a energias renováveis e produção de energia local (Fragoso, 2013).

A reorganização de legislação que se encontrava dispersa, permitiu essencialmente a atualização dos requisitos de qualidade térmica, a introdução de requisitos de eficiência energética e os requisitos para utilização de energias renováveis. (Ministério da economia e do emprego, 2013)

A separação do âmbito de aplicação do REH e do RECS promove a distinção entre as especificidades técnicas de cada tipo de edifício, nos termos mais relevantes para a caracterização e melhoria do desempenho energético. Deste modo, no REH os edifícios assumem uma posição de destaque no comportamento térmico e na eficiência dos sistemas técnicos. (Ministério da economia e do emprego, 2013)

No RECS, para além dos princípios expostos no REH, foram definidas regras e requisitos para a instalação, condução e manutenção dos sistemas de climatização em edifícios de comércio e serviços, no sentido de otimizar o funcionamento destes em termos energéticos. (Ministério da economia e do emprego, 2013)

Relativamente à qualidade do ar interior, foram mantidos os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e os limites de concentração de poluentes no ar interior. Foi privilegiada a ventilação natural e a redução da utilização dos equipamentos de ventilação mecânica, com os objetivos de otimização de recursos e redução de encargos. (Ministério da economia e do emprego, 2013)

Foram ainda eliminadas as auditorias de qualidade do ar interior, mantendo-se, contudo, a necessidade de manter níveis aceitáveis de humidade, temperatura e poluentes. (Ministério da economia e do emprego, 2013)

Passou a ser necessária a existência e afixação do certificado energético nos edifícios de comércio e serviços e edifícios públicos (Fragoso, 2013). A nova etiqueta energética encontra-se ilustrada na Figura 16.

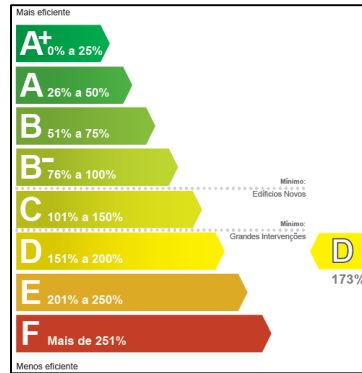


Figura 16: Nova etiqueta energética (Fragoso, 2013)

Foi regulamentada a obrigação de existir um TIM (técnico de instalações e manutenção) para todos os edifícios com potência nominal de climatização superior a 25 kW (Fragoso, 2013).

### Outra legislação

É importante referir que as normas ISO constituem apenas recomendações. Já os Decreto-Lei são de carácter obrigatório.

Relativamente ao ruído provocado pelos ventiladores, foram legislados os valores máximos de nível sonoro admissíveis, pelos seguintes Decretos: DL n.º 182/2006 de 6 Setembro, DL n.º 129/2002 de 13 de Dezembro, Decreto regulamentar n.º 6/2001 de 5 Maio e Decreto regulamentar n.º 76/2007 de 17 Julho.

A norma 13779:2007 apresenta a classe mínima do tipo de filtro a utilizar, em função da qualidade de ar interior desejável num determinado espaço e das condições exteriores existentes (tipo de filtros de acordo com a EN 779). (Carpinteiro, 2011)

### ISO 50001

A norma NP EN ISO 50001:2012 sobre sistemas de gestão de energia permite que as organizações estabeleçam os sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, uso e consumo de energia. Pretende-se também que a implementação desta conduza a uma redução nas emissões de GEE e de outros impactos ambientais relacionados, e custos de energia, através de uma gestão sistemática de energia (Palestra - SGE no LNEG, 2014).

Esta norma especifica requisitos para sistemas de gestão de energia (SGE), exige o compromisso da gestão de topo, é adaptável às necessidades específicas da organização e aplicável a organizações de todos os tipos e dimensões. Baseia-se na metodologia “*Plan-Do-Check-Act*”, não estabelece requisitos absolutos para o desempenho energético e pode ser utilizada para certificação, registo e/ou autodeclaração (IPQ, 2012).

### 3. Caso de estudo

#### 3.1 Apresentação do LNEG

O LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, é uma instituição pública de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (I&DT), orientada para responder às necessidades da sociedade e das empresas. Colabora como entidade consultora para as políticas públicas nas áreas da energia e geologia, ambiente, sustentabilidade, normalização, qualidade e certificação. Para além disso, aposta numa investigação sustentável através da geração do conhecimento do território Português. (LNEG, 2014)

As atividades do LNEG, prioritariamente dirigidas às necessidades do tecido económico, são de três tipos diferentes que se apresentam de seguida (LNEG, 2014):

- Projetos de I&DT financiados, designadamente no âmbito dos Quadros Comunitários de Apoio e dos Programas-Quadro de I&DT;
- Prestação de serviços e contratos com o tecido empresarial e com o próprio Estado nas mais variadas vertentes;
- Apoio direto ao Estado nas vertentes de representação internacional, no fornecimento ao Governo de fundamentação de Ciência e Tecnologia adequada a políticas setoriais, problemáticas transversais e de interface ou que incidam sobre problemas da sociedade.

Relativamente à sua situação geográfica, o Laboratório de Geologia e Minas e o Departamento de Gestão e Organização estão situados no *Campus* de Alfragide e o Laboratório de Energia está localizado no *Campus* do Lumiar. Existem também, o *Campus* de S. Mamede de Infesta, o Centro de Estudos Geológicos e Mineiros em Beja e o Museu Geológico em Lisboa. (LNEG, 2014)

#### 3.2 Descrição geral do edifício

O caso de estudo da presente dissertação, o edifício principal do *Campus* de Alfragide, possui uma área bruta total de 14574 m<sup>2</sup>. Foi construído com o intuito de juntar, no mesmo local, os Serviços Geológicos de Portugal (S.G.P.) e os Serviços de Fomento Mineiro (S.F.M.), colocando cada serviço em metade do edifício. Para além do edifício principal, existe um edifício social, que alberga o refeitório, bar, sala de exercício e gabinete médico, e também uma portaria junto à entrada principal (Norte). Atualmente o LNEG Alfragide possui cerca de 130 funcionários.

O edifício principal possui dois andares subterrâneos (pisos -1 e -2), um térreo (piso 0) e quatro pisos sobterrâneos (pisos 1, 2, 3 e 4). Neste edifício, os pisos inferiores são de maior dimensão e vão diminuindo a partir do piso 1. Existe na parte central do edifício, um pátio interior que, para além de outras funções, proporciona a uma parte dos gabinetes iluminação natural de qualidade aceitável.

Os pisos -1 e -2 são ocupados por serviços técnicos e seus apoios. O piso -2 possui serviços como litoteca, parque de sondas, armazém de amostras e escritório de controlo. O piso -1 só existe no lado Oeste e possui uma área menor, pelo que ocupa apenas as funções de arquivo, arrumos e alguns gabinetes.

O piso térreo contém o *hall* de entrada com receção de pessoas, zona de secretaria, tesouraria e contabilidade, biblioteca, venda e armazém de publicações, assim como parte do auditório (que ocupa dois andares). Neste existe também uma sala com entrada pelo exterior, que aloja as unidades de tratamento de ar relativas ao auditório e zonas comuns deste piso.

Os pisos 1, 2 e 3 são ocupados maioritariamente por gabinetes, sendo que o piso 1 possui também parte do auditório.

O quarto piso contém uma copa, sala de ferragens, sala técnica do AVAC e casas das máquinas. Na sala técnica do AVAC encontra-se uma caldeira a gás propano destinada a produzir água quente, as eletrobombas de água quente, água fria e ventiloconvectors, assim como o sistema de distribuição

principal do edifício, inclusive coletores de distribuição, tubagens, válvulas diversas e sistemas de regulação e controlo. Nos dois terraços estão localizadas as unidades de produção de água fria (*Chillers*). Nas coberturas Este e Oeste situam-se algumas unidades de tratamento de ar, assim como os ventiladores de cobertura do edifício.

O sistema de distribuição AVAC foi projetado de modo a funcionar independentemente para cada metade do edifício.

É de referir que atualmente a divisão do edifício em duas zonas já não se justifica, visto que as diversas funções administrativas estão repartidas por pisos. Do ponto de vista técnico, o sistema AVAC sofreu alterações de modo a otimizar a estrutura física atualmente existente.

O *Campus* LNEG Alfragide possui um Posto de Transformação do Cliente (PTC), cuja entrega de energia se realiza em média tensão (10kV entre fases) a partir do Posto de Seccionamento, propriedade da EDP, que se situa junto ao portão Norte. Sendo que estes distam aproximadamente 185 metros, existem perdas de energia, ora por efeito de *Joule*, ora por efeito reativo.

No PT do cliente, existem dois transformadores de 630kVA (características no Anexo I), um gerador de emergência a gasóleo de 120 kVA e uma bateria de condensadores que tem como intuito compensar a energia reativa com capacidade para 250kVAr com sete escalões de compensação (Diana Coimbra e Raquel Ramiro, 2014).

Contabilizada a potência instalada e avaliada a replicabilidade das medidas que vieram, mais tarde, a ser implementadas para efeitos de redução do consumo de energia e de potência, foi facilmente perceptível o sobredimensionamento no que diz respeito à potência que é necessária fornecer a este *Campus*. Em consequência, foi pedida a selagem de um dos transformadores, que deu origem à vistoria efetuada pela DGEG.

No que diz respeito à bateria de condensadores, depois de constatado vício recorrente na topologia de amostragem da componente reativa da potência, visto não se manter em funcionamento contínuo após os primeiros minutos de ligação, foram implementadas alterações, mesmo depois de verificar-se a ocorrência de uma mancha de fumo resultante da deflagração de incêndio numa bateria de condensadores que anteriormente esteve instalada no mesmo local. Devido ao carácter oscilatório, facilmente se pode encontrar justificação para a poluição harmónica reportada pelos serviços de auditoria tipo II, conduzida pela LABLEC, meses antes. (Diana Coimbra e Raquel Ramiro, 2014)

### 3.3 Caracterização do sistema AVAC do edifício

O sistema centralizado AVAC do edifício em estudo é composto por duas unidades de produção de água fria (*Chillers*), uma unidade de produção de calor (caldeira a gás propano), sete unidades de tratamento de ar (duas delas exclusivamente de ar novo, UTANs), um sistema de distribuição (incluindo bombas ventiloconvectoras, bombas de frio, bomba de calor, tubagens, válvulas, sistemas de regulação e controlo e grelhas), ventiloconvectores em todos os gabinetes, unidades de ventilação com função de extração (para os laboratórios e instalações sanitárias) e algumas unidades de Ar Condicionado (AC) localizadas essencialmente no piso 0, zona da tesouraria e contabilidade, onde se encontra também o sistema de gestão técnica centralizado.

A tela de projeto representativa do sistema de distribuição AVAC do edifício, no período pré-intervenção, encontra-se no Anexo II.

#### 3.3.1 *Chillers*

No LNEG-Alfragide, as necessidades de energia na estação de arrefecimento são supridas por dois *Chillers* e cada um possui dois compressores, um permutador de calor com evaporador tubular inundado, dois condensadores atmosféricos com cinco módulos cada, oito eletroventiladores (quatro por circuito independente) e um dispositivo de laminagem (válvula de expansão).

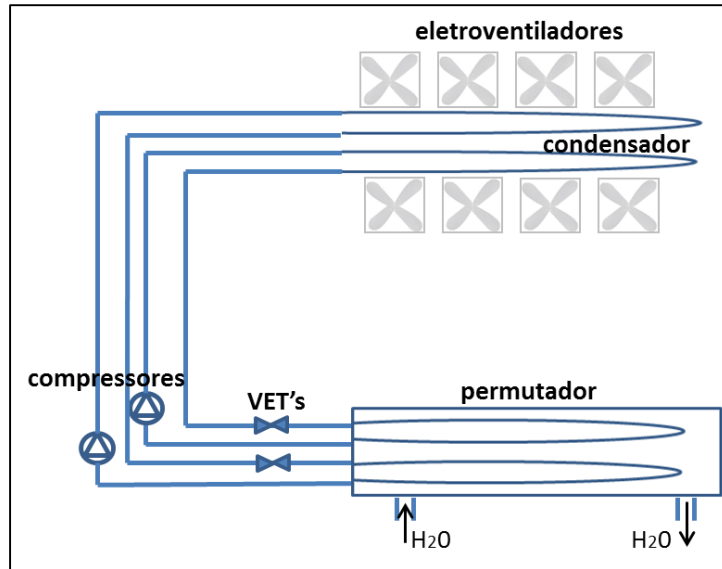


Figura 17: Esquema representativo dos componentes e funcionamento de cada *Chiller*

Os compressores são mecânicos e acionados por um motor elétrico constituído por um estator, um rotor e um eixo de ligação.

Quanto ao princípio de funcionamento classificam-se por volumétricos alternativos, já que os pistões no interior do compressor possuem movimentos alternados. Quanto ao posicionamento do motor de acionamento, classificam-se em semi-herméticos, ou seja, o compressor e o motor possuem a mesma carcaça e é possível aceder aos enrolamentos, tendo de se retirar o gás que passa no interior.

Na Tabela 3 estão representadas algumas das características elétricas e termodinâmicas dos compressores.

Tabela 3: Características elétricas e pressões de R-22 relativas ao funcionamento do compressor

Modelo	CHC88 AHF-1 (Trifásico)
f [Hz]	50
I <sub>máxima</sub> [A]	155:142
L.R.A [A] * <sup>1</sup>	737:675
V <sub>nominal</sub> [V]	380:415
V <sub>máxima</sub> [V]	342:456
p <sub>alta</sub> [bar]	28
p <sub>baixa</sub> [bar]	16

O permutador de calor, no que respeita ao processo de transferência de calor é de contacto indireto, já que os fluidos permanecem separados e o calor é transferido diretamente através de uma parede que separa os dois fluidos. Quanto ao tipo de construção, é do tipo tubular. (Carpinteiro, 2011)

É de referir, que cada *Chiller* possui apenas um permutador, que funciona em conjunto para os dois circuitos existentes.

O evaporador é do tipo inundado uma vez que é constituído por um conjunto de tubos dispostos longitudinalmente, cuja parede exterior é banhada por água. O fluido frigorigéneo passa pelo interior do evaporador e a água por fora, logo o sistema tem de ser estanque para que não haja contacto entre a

<sup>1</sup> L.R.A. indica a corrente de arranque, correspondente ao binário de arranque.

água e o fluido. No evaporador dá-se a passagem do refrigerante de líquido para gasoso. A água passa pelo evaporador em caudal forçado e existe um fluxóstato para que a água não gele. Classifica-se como sendo de convecção forçada (ventilado) quanto ao movimento do fluido a arrefecer. Quanto ao tipo de construção, possui a configuração de tubos e alhetas (três fiadas de tubo de cobre e alhetas de alumínio) (Carpinteiro, 2011).

Os condensadores, de acordo com o fluido que recebe a energia proveniente do fluido refrigerante e a configuração geométrica que apresentam, classificam-se como arrefecidos a ar, de convecção forçada (Carpinteiro, 2011).

Os eletroventiladores são axiais com impulsores helicoidais (ventoinhas) e estão diretamente acoplados a motores elétricos.

Os dispositivos de laminagem, neste caso dispositivos de expansão, são usados para proporcionarem a perda de carga localizada, necessária para baixar a pressão de uma forma rápida. (Carpinteiro, 2011)

O dispositivo de expansão usado é a válvula expansora que, pela forma de acionamento, se caracteriza como termostática (VET). Localiza-se entre o condensador e o evaporador, de modo a possibilitar um grau de aquecimento constante à saída do evaporador, permitindo que este esteja constantemente alimentado, independentemente da carga existente no sistema. (Carpinteiro, 2011)

Baseia-se no equilíbrio existente entre três pressões, a pressão de evaporação ( $p_0$ ), a pressão da mola ( $p_s$ ) e a pressão exercida pelo fluido existente no bolbo da válvula ( $p_b$ ), como é possível observar na Figura 18. (Carpinteiro, 2011)

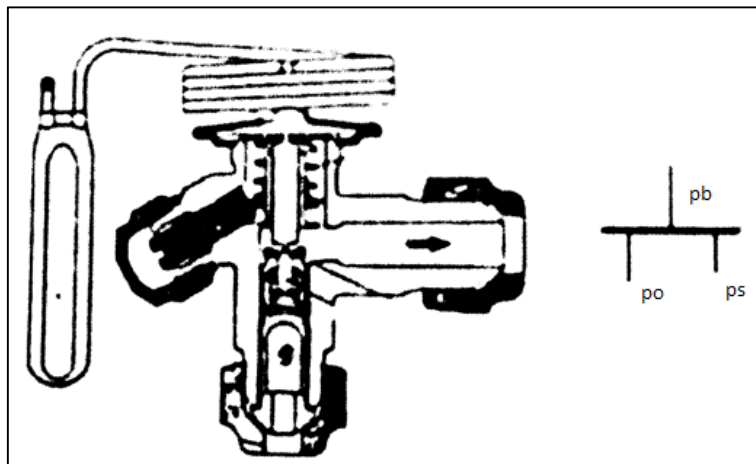


Figura 18: Representação esquemática de uma VET e pressões respetivas (Carpinteiro, 2011)

De seguida é apresentado um esquema dos principais componentes do *Chiller 2*, representativo de ambos os *Chillers*, por serem iguais.

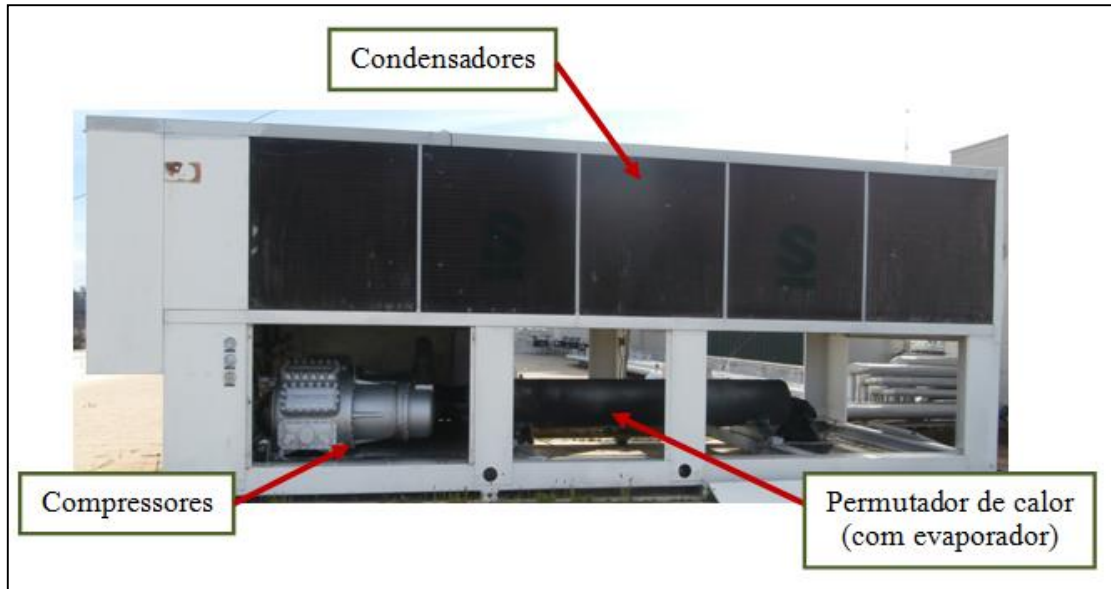


Figura 19: Representação esquemática de um Chiller

A Figura 20 mostra os três manómetros de controlo visual com escalas de temperatura e de pressão, relativos ao circuito de compressão. Um dos manómetros indica a pressão e temperatura de alta pressão do gás refrigerante, o segundo, pressão e temperatura de baixa pressão do gás refrigerante e o último indica apenas a pressão do óleo.

O motor a que está agregado o compressor, deveria estar preparado para funcionar a diferentes velocidades, correspondentes a três níveis de potência.



Figura 20: Manómetros indicadores da pressão e temperatura no compressor

Nas Figuras 21 e 22 estão representados os esquemas referentes aos circuitos de eletroventiladores do Chiller 1 e do Chiller 2, em que a numeração é apresentada pelo sufixo V, de ventilador e o respetivo número que corresponde à numeração correspondente aos contadores.

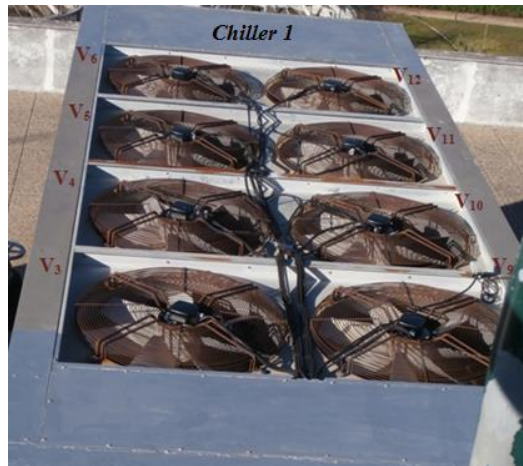


Figura 21: Circuito de eletroventiladores do *Chiller 1*



Figura 22: Circuito de eletroventiladores do *Chiller 2*

O fluido primário utilizado é o R-22 ou HCFC22 e o refrigerante secundário é a água.

O R-22 é um fluido refrigerante da família dos clorofluorcarbonetos (CFC's). (Castro, 2011)

Os clorofluorcarbonetos (CFC's) e hidroclorofluorcarbonetos (HCFC's) contêm cloro na sua composição, sendo assim responsáveis pela destruição da camada de ozono da atmosfera. Por esta razão, a legislação Europeia indica que o refrigerante R-22 deverá deixar de ser utilizado nos aparelhos de climatização até ao final do ano 2014, devido aos problemas ambientais resultantes da possível emissão/fuga deste gás. (EurLex, 2014)

Porém, como se verifica num dos *Chillers* em estudo, este refrigerante pode ainda ser utilizado, visto que a sua percentagem está a um nível aceitável para o correto funcionamento dos equipamentos (níveis de pressão devem ser altos o suficiente para que o gás refrigerante não se escape) e não se verifica a ocorrência de fugas.

Assim que os níveis de pressão desçam para valores inferiores aos recomendados ou haja a ocorrência de fugas, deve-se proceder à extração controlada do refrigerante em questão, de acordo com os procedimentos de segurança necessários e posteriormente, ao seu correto acondicionamento. Nesse momento, a alternativa consistirá em substituir o R-22 por exemplo, pelo R-410A (50% R-32, 50% R-125) ou R-407C (23% R-32, 25% R-125, 52% R-134a), que são hidrofluorcarbonetos (HFC), ou seja, não têm cloro na sua composição.



O que possui características mais próximas ao R-22, incluindo as temperaturas e pressões de operação (Danfoss, 2009) e que permite menos mudanças ao nível dos componentes que é necessário alterar é o R-407C, sendo deste modo a melhor alternativa. Contudo este refrigerante possui uma eficiência que é aproximadamente 5% inferior quando comparado com o R-22. (European Commission, 2008)

A Tabela seguinte compara algumas características físicas dos refrigerantes indicados para este tipo de equipamentos (R-22, R-407C e R-410A).

Tabela 4: Temperatura de ebulição, temperatura crítica e pressão crítica para os refrigerantes a considerar (Danfoss, 2009)

Refrigerante	Temperatura ebulição [°C]	Temperatura crítica [°C]	Pressão crítica [bar]
R-22	-40,8	96	49,9
R-407C	-44	87	48,2
R-410A	-51	72	49,1

O refrigerante R-22 está presente na segunda classe mais crítica das Tabelas da ASHRAE das substâncias destruidoras da camada de ozono. Na Tabela 5 é possível comparar o R-22 com os seus substitutos diretos (R-407C e R-410A), em função do tempo que permanecem na atmosfera, do *ODP* (*Ozone Depletion Potential*) e do *GWP* (*Global Warming Potential*).

Tabela 5: Composição, *Ozone Depletion Potential* e *Global Warming Potential* para os refrigerantes a considerar (Danfoss, 2009)

Refrigerante	Composição	<i>ODP</i> [%]	<i>GWP</i>
R-22	100% HCFC-22	6	1700
R-407C	23% HFC-32, 25% HFC-125, 52% HFC-134a	0	1600
R-410A	50% HFC-32, 50% HFC-125	0	1900

O *GWP* total de uma preparação é uma média ponderada obtida pela soma das frações do peso de cada substância multiplicada pelos respetivos *GWP*'s.

$$\Sigma [(\% \text{Substância}_X \times GWP_X) + (\% \text{Substância}_Y \times GWP_Y) + (\% \text{Substância}_N \times GWP_N)] \quad (13)$$

Em que % é a contribuição por peso da mistura com uma tolerância de  $\pm 1$  %. (EUR-Lex, 2006)

Aplicando a fórmula à mistura de gases contidos no R-407C que contém 23% de HFC-32; 25% de HFC-125 e 52% de HFC-134a, o *GWP* calcula-se do seguinte modo:

$$\Sigma [(23\% \times 550) + (25\% \times 3400) + (52\% \times 1300)] = 1652,50 \quad (14)$$

As principais características funcionais de cada *Chiller* são:

Tabela 6: Características funcionais nominais de cada *Chiller*

Potência frigorífica [kW]	472
Potência elétrica [kW]	142
Temperatura da água à saída [°C]	7
Temperatura ambiente [°C]	35
Caudal de ar [m³/h]	158400
Caudal de água [m³/h]	81,2
Perda no evaporador [m.c.a.]	4

Tabela 7: Etapas de modulação, dimensões e peso em serviço de cada *Chiller*

Etapas de modulação / capacidade [%]	Dimensões [mm]	Peso bruto de cada <i>Chiller</i> [kg]
28, 50, 78 e 100%	6400x2300x2300	4500

Os sistemas de controlo e segurança para os *Chillers* são fluxóstatos instalados nas tubagens de água como segurança de falta de circulação.

### 3.3.2 Caldeira

Para produção de água quente existe um grupo térmico da marca ROCA formado por uma caldeira monobloco que funciona a gás propano. A caldeira possui um queimador de posição fixa (ou regulável), que controla o calor produzido a partir da queima de gás propano.

Contém ainda a ligação de gás com válvulas de regulação, segurança e pressóstatos.

Na Tabela 8 são apresentadas as características nominais da caldeira.

Tabela 8- Características funcionais nominais da caldeira

Combustível	Gás propano
Modelo da caldeira	NTD - 360
Modelo do queimador	PR - 55/2G
Potência térmica [kW]	419
Pressão máxima hidrostática [m.c.a.] <sup>2</sup>	50
Temperatura de serviço [°C]	90/70
Volume de água [L]	269
Perda de carga no circuito de água [mm.c.a.]	175
Pressão de gás necessária no queimador [mbar]	20,5
Rendimento térmico [%]	88,1

### 3.3.3 Ventilação

#### Unidades de tratamento de ar

As unidades de tratamento de ar são da marca EVAC, de chapa galvanizada e são constituídas essencialmente por seções de ventilação, baterias e filtros.

A seção de ventilação está equipada com um ventilador de dupla aspiração, com acionamento indireto por correias e motor trifásico com velocidade de rotação 1500 rpm, montado no interior.

A seção de baterias contém a bateria de aquecimento e de arrefecimento. Estas são constituídas por tubos de cobre e alhetas de alumínio, que permitem respetivamente, que a água quente ou fria circule.

A seção de filtros, do tipo mistura, possui duas entradas no caso das UTAs (ar recirculado e exterior) e apenas uma no caso das UTANs. São equipadas com registos e dispõem também de filtros do tipo seco, laváveis e de elevado rendimento.

As seções de ventilação, de baterias e de mistura, são termicamente isoladas pelo interior.

Os restantes componentes das UTAs são uma válvula de seccionamento do tipo cunha por cada bateria, as válvulas modulantes de três vias para controlo da água quente e fria, um conjunto de apoios antivibráticos e pressóstatos diferenciais para análise da limpeza dos filtros de ar e de falta de caudal no ventilador. As válvulas de regulação são do tipo TA (termostáticas), para uma maior eficácia na afinação dos caudais.

<sup>2</sup> 1 m.c.a = 1,4226 psi = 9806,65 Pa

Os sistemas de tubagens de abastecimento e retorno são revestidos por mantas térmicas, a fim de evitar o ganho ou perda de calor do ar tratado.

O edifício possui duas unidades de tratamento de ar novo, UTAN1 e UTAN7. As restantes são UTAs.

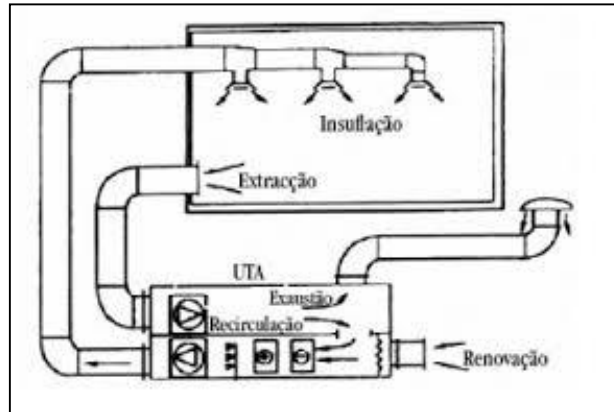


Figura 23: Representação dos processos que ocorrem numa UTA (Carpinteiro, 2009)

Nas telas de projeto (no Anexo III) é possível verificar que as UTAs 4, 5 e 7 possuem uma tubagem de extração.

As características funcionais das unidades de tratamento de ar são descritas no Anexo IV.

### Unidades de ventilação

Existem vários tipos de ventiladores no edifício, com funções e características diversas.

Os ventiladores são do tipo centrífugo e da marca EVAC, série CA, constituídas por um motor trifásico (2 pares de polos) e por um invólucro metálico em chapa galvanizada, envolvendo um ventilador de dupla aspiração, acionado indiretamente por correias. A caixa é interiormente isolada para efeitos de atenuação do ruído acústico.

Os ventiladores de cobertura são unidades da marca EFACEC, série ECT, centrífugas, com acionamento direto e com um invólucro exterior em PVC (próprio para cobertura).

Quanto aos ventiladores de parede, existem três localizações com ventiladores deste tipo. São da marca VORTICE, modelo E-254 com persiana em PVC do tipo anti-retorno. Encontram-se no armazém de publicações (VE AP), nas instalações sanitárias anexas ao armazém (VE LAV) e na sala VIP (VE VIP).

Relativamente ao edifício dos serviços sociais, existem duas unidades de cobertura, que cumprem a função de ventilação da *hotte* da cozinha e das instalações sanitárias.

As características funcionais de projeto dos diferentes tipos de ventiladores encontram-se no Anexo V.

### **3.3.1 Sistema de distribuição**

Os sistemas individualizados que existem no LNEG Alfragide, estão presentes essencialmente no edifício anexo e na portaria, que não possuem sistema de climatização centralizado.

Estes sistemas também existem na zona da secretaria (pisso 0), tendo sido instalados devido à avaria da UTA3 que climatizava aquele espaço. De momento, esses sistemas estão totalmente ou quase desativados, servindo a unidade de tratamento reabilitada para climatizar todo o espaço aqui referido.

O sistema de distribuição neste *Campus* é centralizado do tipo ar-água, ou seja, a renovação de ar é assegurada pelo sistema ar (UTAs) e o fornecimento de calor ou frio é controlado pelo sistema água. É feita a distribuição de ar para os corredores e zonas comuns, enquanto que para os gabinetes a distribuição é feita através do sistema água.

Relativamente ao tipo de configuração da alimentação e retorno de água nas unidades terminais, é um sistema a dois tubos, com ida e retorno de água. Os ventiloconvectores são alimentados por uma tubagem onde circula a água a uma determinada temperatura e contêm uma bateria comum em que o controlo da temperatura ambiente é efetuado através da modulação do caudal de água que nela passa.

A seleção e a modulação do caudal de água quente ou fria são feitas por válvulas modulantes de duas ou três vias existentes na sala do AVAC, que comandam centralmente todo o edifício.

Os circuitos primários de frio e calor são apresentados nos esquemas das Figuras 24 e 25 respetivamente.

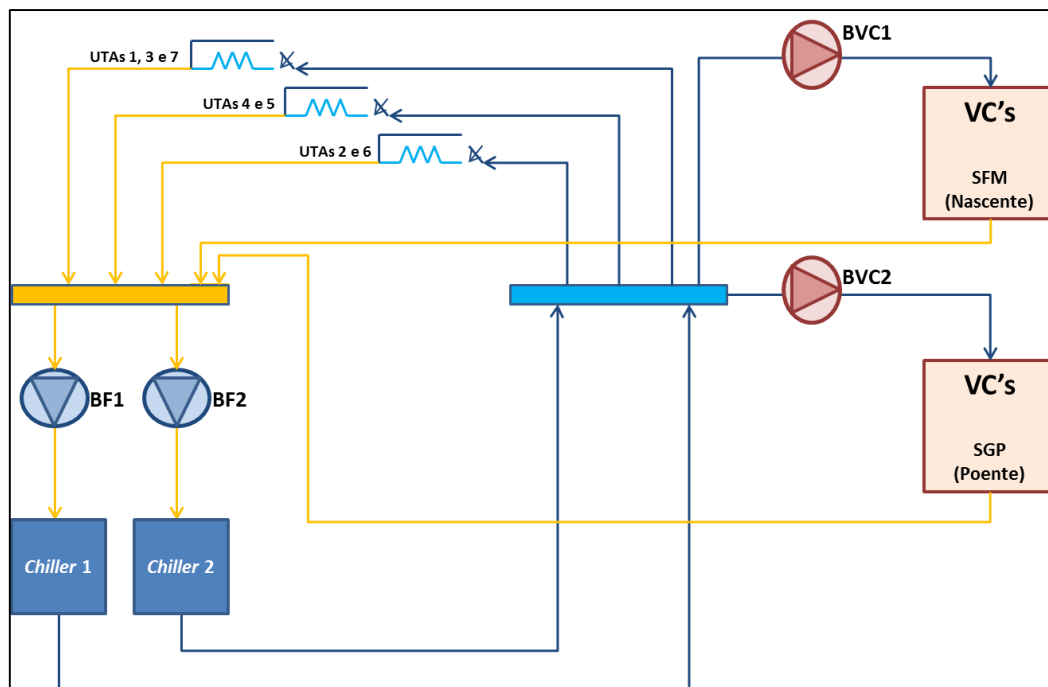


Figura 24: Circuito primário de frio

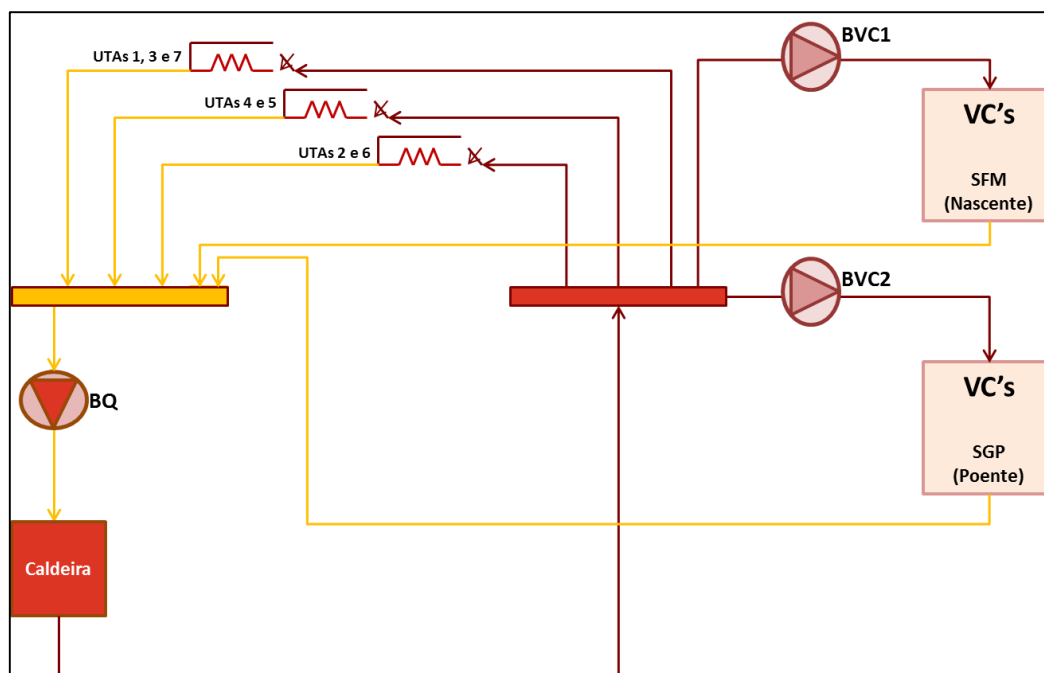


Figura 25: Circuito primário de calor

Os circuitos secundários relativos às unidades de tratamento de ar estão representados no esquema da Figura 26.

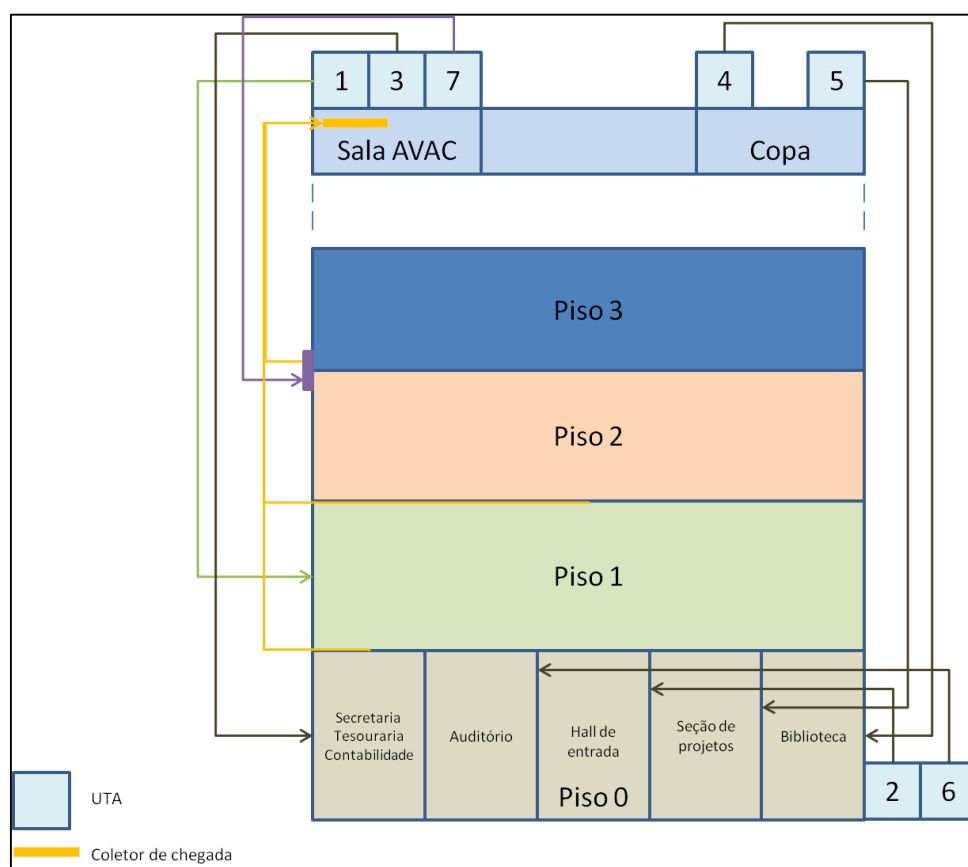


Figura 26: Circuito secundário (UTAs)

As unidades de tratamento de ar para funcionarem, só necessitam de ter as bombas de frio ou calor ligadas, não sendo necessário o funcionamento das bombas ventiloconvectoras.

O ar primário é tratado nas unidades de tratamento de ar (UTAs e UTANs) e de seguida, introduzido mecanicamente (através de bombas hidráulicas) apenas nos espaços comuns, como os corredores, o auditório ou o *hall* de entrada, através de grelhas ou difusores.

Aos gabinetes chega o circuito de água proveniente do circuito primário quente ou frio, consoante a estação do ano, que aquece ou arrefece o ar recirculado, saindo este de seguida através das unidades terminais (ventiloconectores). A recirculação do ar é feita dentro de cada gabinete, sendo essencial a ventilação natural dos espaços a climatizar, de modo a permitir a introdução de ar novo com níveis de oxigenação mais elevados.

### Eletrobombas

Relativamente aos grupos de eletrobombas hidráulicas existentes, são da marca EFACEC e as características funcionais estão presentes no Anexo VI.

As bombas estão montadas na posição horizontal, o seu corpo é constituído por ferro fundido e o veio é de aço. Quanto à turbina, nas bombas de frio e secundárias é em ferro fundido, e nas bombas de calor é em bronze. Os enpanques são mecânicos em qualquer delas.

As bombas possuem uma ligação elétrica trifásica, funcionam a uma tensão composta de 380V, à frequência nominal da rede, 50Hz.

As condições máximas de temperatura da água e de pressão de serviço são 100°C e 10bar, respetivamente.

As bombas dos circuitos primários de água fria e de água quente possuem um acoplamento direto, ou seja, não há uma junta de ligação mecânica, o impulsor (turbina) está ligado solidariamente ao veio.

Nas bombas secundárias (ventiloconvectoras), o acoplamento do veio é indireto, ou seja, existem dois veios separáveis com união de transmissão homocinética (união *Cardan*), que permite transmitir a mesma rotação. Nestas bombas, o acoplamento entre unidades é elástico, protegendo partes móveis e mecânicas contra variações bruscas de velocidade e binário.

Existe uma eletrobomba dos circuitos ventiloconectores (BVC) para cada metade do edifício.

Os invólucros dos equipamentos elétricos, tal como dos motores, conforme as características do local em que estão instalados e da sua acessibilidade, devem oferecer um determinado grau de proteção. Estes são definidos por meio das letras características IP seguidas por dois algarismos (J.R., 2008). Neste caso, os motores das eletrobombas possuem um IP54, que garante proteção contra acumulação de poeiras prejudiciais ao gerador e contra borrifos de água em todas as direções.

Os sistemas de controlo e segurança para as bombas são fluxóstatos instalados na tubagem de água como segurança de falta de circulação.

### Unidades ventiloconvectoras





As unidades ventiloconvectoras são da marca SEVESO, série PR. Estão integradas num sistema a dois tubos, pelo que o arrefecimento e o aquecimento são produzidos numa serpentina comum, de tubos de cobre e alhetas de alumínio. Estão instaladas nos tetos falsos e o sistema contém também uma grelha de insuflação de dupla deflexão, assim como uma grelha de retorno de simples deflexão.

Existe um comando de regulação de caudal que possui três posições possíveis de potências e uma posição de desligado. É constituído por um painel comutador e por um termóstato ambiente de inversão verão/inverno manual. Existem também duas válvulas de corte tipo cunha e uma válvula motorizada de três vias tudo/nada, situadas no interior do teto falso.

### Sistemas de controlo de fluxo

Na central da cobertura (sala AVAC), de modo a fazer-se a seleção da água fria ou quente para o sistema de dois tubos dos ventiloconvectores, existem dois conjuntos de válvulas motorizadas de duas vias. Estas válvulas são comandadas manualmente ou por um sistema de comandos (centralizado ou não).

A água que circula nas tubagens é controlada por válvulas de vários tipos, como as apresentadas de seguida:

-  Válvula simples de seccionamento
-  Válvula termostática de seccionamento
-  Válvula de duas vias (borboleta)
-  Válvula de três vias modulante

As válvulas de seccionamento (simples e termostáticas) encontram-se à entrada e saída dos coletores, de forma a permitir o isolamento de trechos de tubagem, evitando assim o esvaziamento de grandes extensões de tubagem em caso de avaria ou necessidade de manutenção (Monteiro, 2009).

As utilizadas no caso de estudo são de dois tipos: i) tipo cunha, que funcionam rodando um veio através de um volante que permite ou impede a passagem de água (Figura 27) e ii) tipo borboleta em que o fluxo é regulado através de um elemento em forma de disco colocado no centro da válvula, que roda segundo um eixo vertical. Estas últimas são de dimensão reduzida, o que faz com que haja pouca queda de pressão ao longo da válvula (TLV - A steam specialist company, 2014).

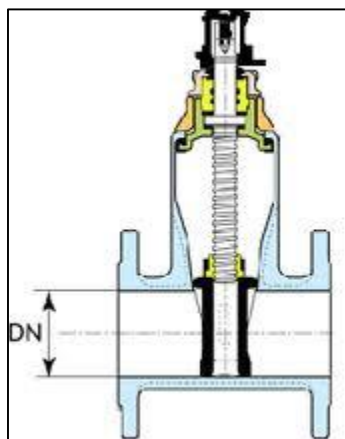


Figura 27: Representação de uma válvula de cunha (PAM Saint-Gobain)

O esquema de funcionamento das válvulas do tipo borboleta é representado na Figura 28.

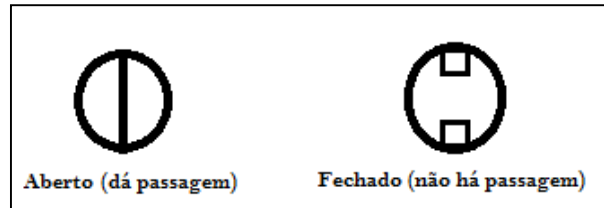


Figura 28: Esquema de funcionamento das válvulas do tipo borboleta

As válvulas modulantes de três vias funcionam como reguladoras de fluxo e são usadas para mistura. Possuem duas entradas e uma saída (Underwood, 2002).

As Tabelas 9 e 10 representam o esquema de abertura/fecho de válvulas modulantes (de três vias e borboleta) que estaria a funcionar dependendo da estação do ano, em cada circuito do edifício (poente ou nascente).

Os circuitos poente e nascente fazem sentido numa perspetiva do edifício com uma divisão em que se pretende alguma independência ao nível do sistema de climatização, em que cada metade do circuito de distribuição da sala técnica do AVAC, fazia a distribuição para cada metade do edifício.

### Circuito SGP (Poente)

Tabela 9: Esquema de funcionamento das válvulas modulantes - Circuito Poente

Válvula	Verão		Inverno		Mudança Inverno/Verão		Mudança Verão/ Inverno	
	Aberta	Fechada	Aberta	Fechada	Aberta	Fechada	Aberta	Fechada
1	X	-	-	X	-	X	-	X
2	X	-	-	X	-	X	-	X
5	-	X	X	-	-	X	X	-
6	-	X	X	-	-	X	X	-
15	A-B	A-C	A-C	A-B	A-B	A-C	A-C	A-B
9	-	X	-	X	X	-	-	X
10	-	X	-	X	X	-	-	X
13	-	X	X	-	X	-	X	-

### Circuito SFM (Nascente)

Tabela 10: Esquema de funcionamento das válvulas modulantes - Circuito Nascente

Válvula	Verão		Inverno		Mudança Inverno/Verão		Mudança Verão/ Inverno	
	Aberta	Fechada	Aberta	Fechada	Aberta	Fechada	Aberta	Fechada
3	X	-	-	X	-	X	-	X
4	X	-	-	X	-	X	-	X
7	-	X	X	-	-	X	X	-
8	-	X	X	-	-	X	X	-
16	A-B	A-C	A-C	A-B	A-B	A-C	A-C	A-B
11	-	X	-	X	X	-	-	X
12	-	X	-	X	X	-	-	X
14	-	X	X	-	X	-	X	-

Nas Tabelas 9 e 10 é possível verificar que as válvulas modulantes simples só têm a função de dar passagem de água ou não, já as modulantes de três vias (válvulas 15 e 16) por estarem localizadas num



troço que permite realizar uma mistura, funcionam quer para o circuito de frio (A-B) quer para o circuito de calor (A-C), ou ainda para uma situação de meia estação, conforme pretendido.

### 3.4 Estado inicial

A avaliação inicial do sistema permitiu concluir que o principal problema do sistema AVAC era causado por falta de pressão de água para o funcionamento dos equipamentos situados no piso 4 do edifício principal.

Averiguou-se esta situação, tendo-se recorrido às faturas de água do SiMAS de Oeiras e Amadora, através das quais se detetaram gastos volumétricos muito acima do que seria de esperar.

Concluiu-se que haveria uma fuga de água nas tubagens enterradas, que foi identificada na zona Norte, mais especificamente no percurso entre a entrada de água (portaria) e a ponte da ribeira.

Foram também detetadas perdas de água resultantes da utilização incorreta e irracional dos pontos de água existentes no edifício, tais como torneiras abertas, autoclismos a verter e marcos de incêndio não estanques.

As intervenções com o objetivo de solucionar este problema iniciaram-se no mês de Abril após terem sido dados a conhecer os métodos e materiais a serem utilizados ao SiMAS, de modo a uniformizar as ações e resultados obtidos.

Relativamente ao sistema de gestão do sistema AVAC existente, apresentava alguns problemas, não sendo possível reprogramá-lo de forma a alterar erros que ocorriam, nem adaptá-lo às intervenções realizadas, isto porque só é permitido o acesso para modificações à empresa responsável pela instalação deste sistema.



Figura 29: Sala da segurança, onde está o computador com acesso ao programa de gestão AVAC

De seguida é apresentado o estado inicial relativamente aos vários equipamentos que constituem o sistema AVAC do edifício.

É de referir que, para além da inexistência de manutenção, foram detetadas situações potencialmente perigosas, quer para os equipamentos, quer para os funcionários do edifício, resultado de intervenções por pessoal não habilitado ou por erros durante a instalação inicial dos próprios equipamentos.

#### 3.4.1 Chillers

Quando se iniciou a monitorização destes equipamentos, o *Chiller1* encontrava-se parado e o *Chiller2* funcionava apenas com um compressor. Deste modo, o sistema de arrefecimento não funcionava na totalidade, conduzindo a uma redução da eficiência deste e não proporcionando as condições necessárias de conforto no período de arrefecimento.

Verificou-se que vários componentes das unidades produtoras de água fria se encontravam danificados devido a corrosão, deficiente montagem, inexistência de tampas de proteção dos fios elétricos ou mesmo ligações elétricas defeituosas. Estas ocorrências provêm essencialmente da falta de manutenção preventiva, que poderia ter evitado a maioria dos problemas ocorridos ao longo dos anos.

Devido à exposição ao ambiente exterior, vários equipamentos foram afetados, nomeadamente, invólucros dos compressores, relés, pressóstatos, VETs, fluxóstatos, termóstatos, eletroventiladores e placas metálicas estruturais.



Figura 30: Fluxóstato danificado e corroído – *Chiller2*



Figura 31: Compressor 1 do *Chiller 2* (pressóstatos danificados)



Figura 32: Ferrugem e componentes danificados na zona do permutador e tubagem de água

Comprovou-se que alguns dos cabos responsáveis pela transmissão de dados ao sistema de gestão do edifício estavam danificados e que os sensores de sinalização se encontravam queimados.

Foram detetados alguns erros de projeto, essencialmente nos permutadores, circuito de ventilação, compressores e quadros elétricos.

O estado geral dos equipamentos no início do período de intervenções é descrito de seguida.

### Compressores

Verificou-se que os pressóstatos se encontravam fora de serviço. Para além disso, tinham sido feitas ligações diretas (*shunts* elétricos) nos mesmos.

O *Chiller 2* tinha o segundo compressor parado uma vez que havia avarias nos pressóstatos do óleo, de alta e baixa pressão, com terminais corroídos e sem qualquer proteção contra as condições climáticas, não permitindo o arranque do compressor.

Os pressóstatos de baixa e alta pressão encontravam-se também ligados de forma errada. Um deles estava com uma tensão de 5Vcc e o outro com 230Vac.



Figura 33: Pressóstatos de baixa e alta pressão e pressóstato do óleo (avariados) e sem tampa de proteção

O *Chiller 1* estava continuamente a parar, uma vez que o disjuntor/interruptor diferencial disparava.

Descobriu-se que um dos problemas estava na resistência de aquecimento a óleo de *Carter*. Esta resistência, que se encontra dentro do corpo do compressor (e não em contacto com o óleo), serve para aquecer o óleo de modo a que a sua viscosidade seja a ideal para arranque e funcionamento corretos. Verificou-se que a mesma tinha um defeito num dos fios condutores, provocando passagens à terra que representavam um problema em termos de segurança.

As passagens à terra para além de constituírem risco para os utilizadores, originaram ainda tensões elevadas e correntes de defeito que prejudicaram os sistemas eletrónicos, destruindo os sistemas de comunicação.

No projeto dos *Chillers* estava descrita a possibilidade de variação de três níveis de potência no compressor, de modo a possibilitar o funcionamento mínimo a duas potências, sendo acionada a terceira em situações extremas de calor. Porém, para além de apenas dois dos níveis estarem ligados, os compressores só funcionavam com um nível de potência, visto que existiam *shunts* entre os polos elétricos que supostamente deveriam fazer a distinção de potências. Conclui-se assim, que houve erros na montagem das unidades de produção de frio, no que se refere à ligação elétrica dos níveis de potência dos compressores.

### Permutador

Nas tubagens de entrada de água, os equipamentos como fluxóstatos, purgadores, manómetros e sondas de temperatura encontravam-se calcinados e ferrugentos, estando o isolamento com muita

humidade e apodrecido. É de referir, que a maioria destes equipamentos não tinha qualquer possibilidade de manutenção ou recuperação, tendo sido substituídos.

As válvulas de corte motorizadas estavam também destruídas devido à exposição direta à radiação solar.

Observou-se ainda que os componentes instalados nas tubagens não estavam corretamente dimensionados. Por exemplo, as roscas dos fluxóstatos deveriam estar colocadas num furo de maior dimensão, de modo a garantir uma pressão ótima e prevenção da avaria deste instrumento.

Um erro de projeto detetado, consistiu na localização das purgas nas tubagens. A inexistência de purgadores era responsável pela formação de condensados que, por sua vez, danificava muitos dos equipamentos.

Os purgadores existentes encontravam-se nas tubagens de saída dos permutadores, que não consistiria um problema caso o *Chiller* estivesse colocado no piso 0 com uma pressão alta de água.

Porém, na cobertura do edifício, a pressão de água é mais baixa. A inexistência de purga na tubagem de entrada de água no permutador, não permitia que este ficasse completamente inundado como devia, ficando a zona superior preenchida com ar. Consequentemente, era formado gelo que se deslocava em direção aos compressores, fazendo com que o *Chiller* tivesse ordem para parar.



Figura 34: Furo do purgador entupido e corroído

#### Placas condensadoras

Constatou-se existirem cinco módulos de serpentinas condensadoras e apenas quatro grupos de ventiladores, o que indica um defeito no projeto de dimensionamento destas unidades. As placas condensadoras necessitam de arrefecimento, pelo que se tornaria necessário mais um grupo de dois ventiladores em cada *Chiller*.

Este problema de deficiente ventilação provoca um aumento da temperatura e pressão de condensação e, consequentemente, aumento do consumo elétrico, desgaste dos equipamentos e possibilidade de fugas devido a sobrepressões no condensador.

#### Ventiladores

Foi possível aferir que a maioria das caixas de proteção dos ventiladores instalados na cobertura dos *Chillers* não estava isolada. Por não existir um sistema de drenagem nas placas de suporte dos ventiladores, a água acumulava-se e provocava corrosão dos materiais e fios elétricos, assim como passagens à terra.

Em alguns ventiladores verificou-se defeitos na ligação à terra nos enrolamentos dos motores.

Após a realização de testes aos ventiladores de ambas as unidades, concluiu-se que apenas um destes se encontrava avariado.

Através da análise no quadro elétrico dos *Chillers*, foi apurada a existência de apenas três fases, não existindo neutro (sendo essa ligação feita no transformador).

O problema consistiu no facto de o transformador e restantes equipamentos do circuito de comandos estarem incorretamente dimensionados. Uma vez que o primário do transformador funcionava com uma tensão de 400V, a utilização deste neutro só poderia ocorrer existindo uma estrela de tensões equilibrada, ou seja, tendo ventiladores e contactores em número múltiplo de três, o que não se verificava.



Figura 35: Cabos de alimentação do Q.E. *Chiller* (sem neutro)

Este defeito foi responsável por erros de transmissão de dados ao sistema de gestão e avarias em alguns equipamentos como contactores e fusíveis, derivado das sobretensões a que estavam sujeitos. Provocou também o sobreaquecimento dos ventiladores que consequentemente não ventilavam suficientemente as unidades.

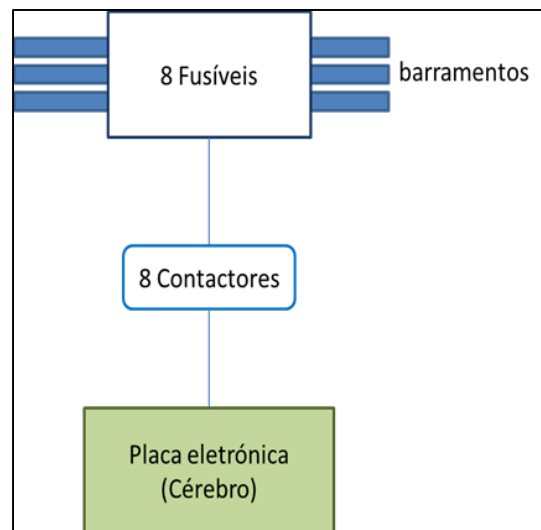


Figura 36: Circuito elétrico de ventilação existente no Q.E. *Chiller*

Cada ventilador possuía três fusíveis para cada fase (R,S,T) de forma a funcionarem como proteção em casos de sobreintensidade de corrente. Contudo, estes não estavam corretamente dimensionados, visto terem um maior calibre do que seria aconselhável.

A utilização de fusíveis de maior calibre, levou a que os enrolamentos dos motores dos ventiladores entrassem em curto-circuito e que os seus isolamentos se degradassem. Em consequência, as bobinas dos mesmos, encostaram-se ao núcleo magnético (constituído por material ferromagnético), provocando passagens à terra.

Verificou-se ainda, que alguns dos fusíveis estavam avariados ou nem sequer existiam. A inexistência de um fusível provoca a inexistência de um campo magnético girante que faça rodar o rotor do ventilador.

No circuito dos fusíveis avariados, uma vez que o motor não arrancava, as fases entravam em sobrecarga e a temperatura dos enrolamentos elevava-se, degradando-os.



Figura 37: Imagem do circuito de ventilação dos *Chillers* (pré-intervenção)

Através de uma análise às medições realizadas no circuito de ventilação no período pré-intervenção (Anexo VII), é possível concluir que o fator de potência era mais baixo do que seria desejável. Este facto contribuiu para uma baixa eficiência do processo de ventilação, uma vez que se verificava mais potência reativa e maiores quedas de tensão entre o *Chiller* e o Posto de Transformação.

#### Outros problemas eletromecânicos

Verificou-se que, em ambos os *Chillers*, as bobinas das eletroválvulas de alimentação das válvulas de expansão estavam ressequidas e a dar passagem à terra. O movimento do núcleo, devido à passagem de corrente, cria um campo magnético que ativa a válvula (permite a passagem de fluido ou não).

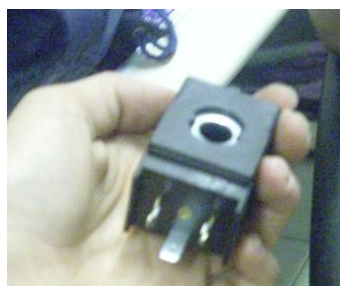


Figura 38: Bobinas das eletroválvulas

Observou-se a inexistência de ligações à terra corretas, visto que a única ligação existente era feita através da estrutura da tubagem de água que ligava as unidades produtoras de frio ao edifício. Isto representava um problema de segurança para as instalações e para os próprios trabalhadores que, em



qualquer momento, poderiam ser afetados por tensões de contacto ou de passo, provocadas pela passagem de corrente através de qualquer superfície sem ligação à terra.

A ausência de circuitos de proteção como disjuntores diferenciais e de linhas equipotenciais, provocou danos graves nas próprias unidades, sendo responsável pela destruição da placa eletrónica (“cérebro” da unidade) e do circuito de comandos, que ficava sujeito a tensões de trabalho elevadas.

Estas medições de defeitos à terra deveriam constituir uma importante etapa nos planos de manutenção preventiva.

### 3.4.2 Caldeira

A falta de manutenção era evidente no que respeita à unidade produtora de calor.

Os problemas mais frequentes neste tipo de caldeiras em ferro fundido são a possibilidade de sobreaquecimento, corrosão e deterioração mecânica.

De um modo geral, verificou-se uma carência de modulação da chama, necessidade de consumo de gás no período fora de serviço, consumo excessivo de gás na fase de arranque, acumulação de lamas e de incrustações e inexistência de comunicação ou *reporte* de anomalias.

Durante o período de Inverno no início de 2014 ocorreu uma fuga de água com consequente inundação em torno da caldeira. Deste modo, procedeu-se a averiguações tendo-se concluído que no acoplamento entre a saída direta de gases e a conduta vertical de exaustão (chaminé), acumulavam-se condensados de água, responsáveis pela corrosão da estrutura em ferro fundido da caldeira.

Para além do corpo da caldeira, a estrutura de forra mecânica, constituída também por chapa zincada, acabou por ficar danificada. Concluiu-se que a caldeira não estava dotada de um sistema de prevenção de condensados.

Deste modo, uma das maiores preocupações consistia na elevada degradação nos materiais constituintes do corpo da caldeira e do sistema de exaustão. Neste, a chaminé estava demasiado corroída na zona mais próxima da caldeira, tendo-se observado até fissuras de elevada dimensão em alguns locais.



Figura 39: Conduta dos gases de exaustão visivelmente corroída

Após uma análise cuidada a todo o sistema, foi possível observar que a entrada de ar encontrava-se muito suja, devido à inexistência de um filtro e de uma limpeza apropriada, o que resultou numa avaria do motor do ventilador que não permitia o arranque da caldeira.

Os injetores tinham também falta de limpeza e manutenção, não permitindo a otimização da razão estequiométrica, que se traduzia numa chama de cor amarelada.



Figura 40: Estado inicial do queimador da caldeira

A canalização de ligação entre a torneira de entrada de gás propano e a caldeira encontrava-se em mau estado de conservação, não estava dimensionada de modo a contribuir para um correto funcionamento do sistema e utilizava materiais e uniões desadequadas às normas em vigor.

O funcionamento da caldeira durante longos períodos de tempo a temperaturas de funcionamento muito elevadas (120°C), para além de ter contribuído para a ineficiência do processo de queima, ao aumentar a necessidade de utilização de gás propano, contribuía também para a formação de condensados no corpo da caldeira e no sistema de exaustão que, por sua vez levou à corrosão da conduta de exaustão.

Quanto às proteções da caldeira, os dispositivos de regulação e controlo existentes não funcionavam corretamente, por estarem expostos a humidade, tais como fluxóstatos, pressóstatos e termostatos. Não existia nenhum detetor de gás tóxico e gás combustível, essencial numa instalação deste tipo.



Figura 41: Fluxóstato com problemas elétricos e corrosão

Os problemas verificados impediam o funcionamento seguro deste sistema, uma vez que não estavam garantidas as condições mínimas de segurança nem de eficiência do processo.

### 3.4.3 Ventilação

#### 3.4.3.1 UTAs

As caixas de comando das válvulas de três vias (principalmente as correspondentes às unidades situadas na cobertura do edifício) estavam degradadas e não funcionavam, por estarem em locais expostos à humidade e devido também à falta de manutenção.



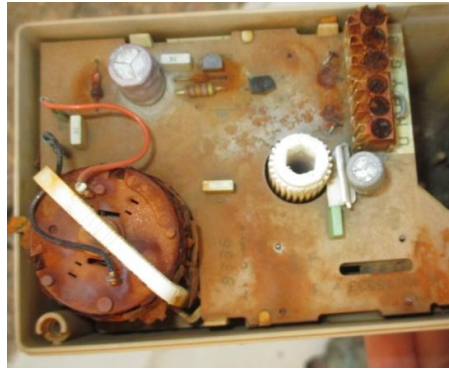


Figura 42: Caixa de comando das válvulas de três vias visivelmente degradada

A UTA3, correspondente à zona da secretaria/contabilidade, encontrava-se avariada, tendo sido considerada irrecuperável pela empresa externa de manutenção destas unidades.

Procedeu-se à verificação das condições da mesma, tendo sido detetados problemas que provinham essencialmente da falta de manutenção e da redução do caudal de água ocorrido devido à fuga, que não permitiam assim, que se alcançasse o aquecimento (ou arrefecimento) de ar na zona pretendida.

As canalizações em aço galvanizado do sistema de distribuição de fluido térmico, encontravam-se em avançado estado de degradação, apresentando sinais evidentes de corrosão.

Relativamente ao sistema de distribuição de fluido térmico, os mecanismos de controlo de fluxo de água (e portanto de potência térmica), estavam corroídos e alguns dos equipamentos avariados, não permitindo o objetivo a que foram destinados. São exemplos, as válvulas modulantes de três vias e caixas de comando respetivas, válvulas de cunha e purgadores.



Figura 43: Sistema de distribuição com tubagem corroída, ligações elétricas danificadas e equipamentos avariados

As sedes das válvulas elétricas encontravam-se inundadas com água de origem pluvial, tendo-se concluído que os sinais de erro e avaria, visíveis no sistema de gestão técnica centralizado do edifício, provinham deste problema. Como consequência, verificou-se também a avaria de outros componentes elétricos que estavam conectados às válvulas, assim como a existência de passagens à terra, que se poderiam propagar ao corpo da própria unidade.

Relativamente à UTA2, começou-se por analisar a unidade, tendo-se verificado que uma das correias apresentava sinais de degradação, incluindo fissuras e que a outra, estava com demasiada folga. Estes fatores contribuem para a redução do rendimento do processo, uma vez que o sistema possui duas

correias para compensar a fricção causada em cada uma, equilibrando-a deste modo entre as duas. É prejudicial em termos de segurança e eficiência, o funcionamento da unidade apenas com uma correia funcional, durante largos períodos de tempo.

Foi também verificado um ruído anormal que levou à conclusão de que poderia existir algum problema no sistema polias-correias do grupo motoventilador.



Figura 44: UTA2 – correias com alguma folga

A UTV (unidade termoventiladora) do refeitório encontrava-se altamente degradada, com componentes enferrujados e os circuitos elétricos danificados.

As resistências elétricas destinadas ao aquecimento do espaço, encontravam-se corroídas (Anexo VIII).



Figura 45: UTV danificada e degradada

### 3.4.3.1 Ventiladores de extração

Observou-se que o ventilador VH7 não tinha as correias do grupo motoventilador, não cumprindo o seu objetivo de extração, embora estivesse em funcionamento.

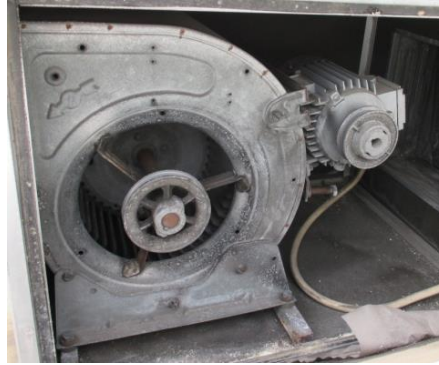


Figura 46: VH7 sem correias

O VH9 (ventilador do laboratório 1034) estava continuamente em funcionamento e a produzir um ruído incomodativo, presumivelmente devido a um problema nos rolamentos, podendo prever-se a sua avaria permanente. Tinha também uma fissura na “manga”, estando a perder ar ventilado para a atmosfera.

#### **3.4.4 Sistema de distribuição**

Foi feito um esquema do circuito da sala do AVAC (Anexo IX), constituído por tubagens, coletores, válvulas, hidrobombas e outros equipamentos, de modo a identificar os erros de dimensionamento descritos de seguida, assim como as intervenções necessárias.

Verificou-se que o sistema de distribuição era controlado localmente na sala técnica do AVAC e possuía diversos troços de tubagem e válvulas em excesso. Algumas destas, encontravam-se com avarias nos circuitos eletromecânicos e estavam empenadas ou mal instaladas, dificultando a tarefa de inversão de ciclo, realizada na altura de mudança de estação, para além de dificultar o funcionamento de todo o sistema de climatização.

Foi detetado um erro de projeto na colocação de sondas de temperatura nas tubagens relativas às bombas ventiloconvectoras. Estas, de acordo com a tela AVAC, deveriam ter sido colocadas de modo a medir a temperatura da água de retorno que já percorreu o edifício porém, na realidade, estavam no circuito de ida logo a seguir às BVCs (eletrobombas dos ventiloconectores).

Este erro de projeto influenciava todo o funcionamento do sistema AVAC, ao dar uma informação errada ao sistema de gestão do edifício. Eram dadas indicações para que fossem desligadas as unidades de produção de frio e calor por já se terem atingido as temperaturas de retorno desejadas quando, de facto, as temperaturas medidas eram as de ida. As queixas dos trabalhadores de que a temperatura não estaria adequada, eram devidas a este erro no projeto, uma vez que eram forçados a abertura ou fecho das eletroválvulas de modo indevido e indesejado.

O método utilizado na meia estação, consistia em utilizar troços de tubagem que funcionavam como *shunts* hidráulicos, permitindo uma redução do caudal de água e trocas de calor entre os lados poente e nascente do edifício.

Este processo era complexo e nada eficiente, quer em termos energéticos, quer tendo em vista a manutenção do sistema de distribuição, essencialmente das válvulas modulantes e de três vias.

Verificou-se que o sistema de expansão constituído por dois vasos expansores de 280L e 80L estava sobredimensionado, visto que as quedas de pressão que se observavam desde o local de entrada de

água (junto ao portão de entrada) até ao piso 4 não implicavam a necessidade de uma capacidade de 360L instalada na sala técnica.

Os purgadores, essenciais para o correto e seguro funcionamento do sistema, estavam colocados em locais inacessíveis das tubagens de distribuição na sala do AVAC, estando por isso este sistema mal dimensionado.

Muitos dos purgadores existentes encontravam-se entupidos e, em algumas zonas da tubagem de distribuição não existiam.

### Grupos hidráulicos

Os principais problemas detetados nos grupos hidráulicos advêm, mais uma vez, da falta de manutenção generalizada.

Relativamente às eletrobombas BVCs, BFs e BQ, verificou-se um problema generalizado de corrosão e sujidade dos materiais constituintes, elevado desgaste das partes mecânicas, entupimento dos grupos turbina-impulsor e existência de calcário. Encontravam-se também mecanicamente desequilibradas, não estando absolutamente alinhadas em relação à flange da cornucópia correspondente.

De um modo geral em todas as eletrobombas, verificou-se a existência de rolamentos e empanques danificados.



Figura 47: Estado de degradação e sujidade das eletrobombas de circulação (BVCs)

Observou-se a existência de pequenas fugas de água em torno da eletrobomba de calor, que estava também a emitir um ruído mecânico acentuado.

Numa das eletrobombas de frio, foi detetada a fissura do impulsor, que causava um incorreto funcionamento da mesma e inundações frequentes.

Foram realizadas medições pré-intervenção, apresentadas na Tabela 11. Não foram realizadas medições às BFs devido ao facto de, no momento das medições, nos encontrarmos na época de aquecimento, não estando estes grupos a ser utilizados.

Tabela 11: Características elétricas medidas nos grupos hidráulicos

Características Elétricas	BQ	BVC1	BVC2
Potência elétrica absorvida [kW]	2,12	4,95	5,15
Potência reativa [kVAr]	2,02	5,99	5,9
Fator de potência (cosφ)	0,72	0,63	0,65

#### **3.4.4.1 Unidades ventiloconvectoras**

Na maioria destas unidades, os problemas resultaram da inexistência de manutenção adequada.

Observou-se que os materiais constituintes, como grelhas, chumaceiras e tubagens, encontravam-se degradados e corroídos.

Verificou-se que, em alguns gabinetes, não se conseguiam atingir os níveis de arrefecimento ou aquecimento desejados e que muitos dos ventiloconvectores emitiam um ruído eletromecânico.

Foram identificadas diversas unidades ventiloconvectoras, que não funcionavam devido a problemas elétricos e/ou mecânicos e outras com problemas no circuito aerúlico.



Figura 48: Unidade ventiloconvetora com problemas de corrosão

#### **3.4.5 Sala técnica do sistema AVAC**

O sistema de drenagem existente consistia num ralo de esgoto de diâmetro 32 mm, o que provocava problemas na segurança dos equipamentos e quadro elétrico presentes, visto que não era suficiente para escoar a água resultante de purgas, fugas ou avarias imprevistas.



Figura 49: Situação inicial do sistema de drenagem

O quadro elétrico (QAVAC 1) presente nesta sala, apresentava problemas de organização, entre eles disjuntores e interruptores mal identificados e com erros de dimensionamento, fases trocadas, assim como falta de limpeza e de condições de segurança.



## 4. Intervenções

As intervenções foram realizadas na sequência do elevado estado de degradação do sistema AVAC.

Foi utilizado o modelo “predictor-corrector”, que consiste em prever uma situação que advém da utilização de um recurso, após uma análise inicial à faturação, seguida da elaboração de um plano de ações com o intuito da correção imediata de um eventual problema detetado. Nomeadamente, a aplicação deste modelo, permite verificar se existe uma componente de perdas e reduzir os seus efeitos, resultando na minimização dos consumos associados ao uso desse recurso, como se pode observar na Figura 50. (Abreu, 2005)

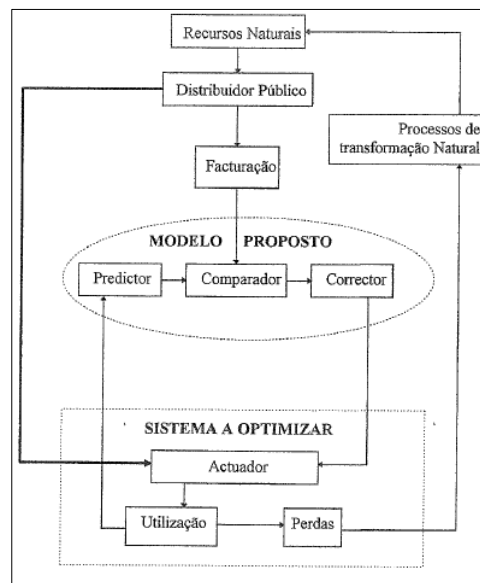


Figura 50: Diagrama de blocos (Abreu, 2003)

### 4.1 Planos de manutenção

Para efeitos de registo do edifício na ADENE é obrigatória a existência de um plano de manutenção preventiva (PMP), pelo que foi elaborado um plano específico ao sistema AVAC em estudo, que é objeto de estudo de uma outra dissertação (Anexo X).

#### 4.1.1 Manutenção corretiva

##### Chillers

Procedeu-se à identificação dos componentes e modo de funcionamento e de seguida, à identificação dos problemas existentes. Posteriormente, foi realizado o planeamento das intervenções necessárias, que consistiram nas seguintes tarefas:

- a) Medição de pressões no compressor;
- b) Substituição da resistência de aquecimento do compressor;
- c) Substituição das bobinas das eletroválvulas de alimentação das VET;
- d) Pintura de toda a estrutura e componentes;
- e) Reorganização das placas ventiladoras;
- f) Manutenção/reparação e medição de consumos dos ventiladores;

- g) Recolocação das tubagens de água e substituição de diversos equipamentos;
- h) Restruturação do quadro de comandos e componentes (correção de um erro de projeto).

### Caldeira

Após uma vistoria inicial, foi elaborado o plano de trabalhos a realizar na caldeira e que consistiu nas seguintes tarefas:

- a) Montagem da canalização de gás e de outros componentes;
- b) Verificação da inexistência de fugas;
- c) Instalação da ligação amovível e do contador;
- d) Limpeza da entrada de ar e dos injetores e calibração da razão estequiométrica;
- e) Carregamento do depósito de gás;
- f) Instalação das proteções da caldeira;
- g) Purga da canalização;
- h) Remoção da chaminé e sua reinstalação.

### Unidades de tratamento de ar

Procedeu-se à identificação dos componentes das UTAs e das zonas abrangidas por cada uma.

A Tabela 12 apresenta a localização física, localização do quadro elétrico de distribuição e zonas beneficiadas de cada UTA.

É de referir que o QAVAC1 (quadro elétrico número 1 do sistema AVAC) se situa na sala técnica do AVAC no lado norte do piso 4, o QAVAC2 (quadro elétrico número 2 do sistema AVAC) está na copa/cozinha do lado sul do piso 4 e o QAVAC3 (quadro elétrico número 3 do sistema AVAC) se encontra na sala exterior ao edifício no piso 0. A distribuição dos equipamentos correspondentes a cada quadro elétrico está no Anexo XI.

Tabela 12: Quadro elétrico, designação, local e zonas beneficiadas – UTAs e UTANs

Quadro Elétrico	Designação e local das UTAs	Zonas beneficiadas
QAVAC 1	UTAN 1 Telhado Norte	Ar novo dos ventiloconvectores – Piso 1 Zonas comuns - Piso 1
QAVAC 3	UTA 2 Sala UTAs	Hall de entrada - Piso 0 Hall do auditório - Piso 1
QAVAC 1	UTA 3 Telhado Norte	Financeira - Piso 0
QAVAC 2	UTA 4 Telhado Sul	Biblioteca – Piso 0
QAVAC 2	UTA 5 Telhado Sul	Seção de projetos - Piso 0
QAVAC 3	UTA 6 Sala UTAs	Auditório
QAVAC 1	UTAN 7 Telhado Norte	Ar novo dos ventiloconvectores – Pisos 2 e 3 Zonas comuns - Pisos 2 e 3
QAVAC 1	UTV Telhado Norte	Piso -2



Existe também uma unidade termoventiladora (UTV) no edifício anexo (refeitório).

As intervenções necessárias mais relevantes pela sua periodicidade são a verificação do funcionamento geral e de ruídos e vibrações, as medições de temperaturas do ar (insuflação e retorno) e dos consumos elétricos, a limpeza dos filtros de ar e o ensaio do sistema de controlo de temperatura. (Carpinteiro, 2011)

Relativamente às UTAs e UTANs, antes de serem ligadas, deve ser realizada a purga das canalizações, devido à presença de impurezas na água e ferrugem nos canos.

Foi realizado o planeamento das intervenções necessárias nas unidades de tratamento de ar, que consistiram nas seguintes tarefas:

- a) Reparação da UTA3;
- b) Reorganização do sistema de distribuição nas unidades de tratamento de ar;
- c) Reestruturação e reparação da unidade UTV do edifício anexo.

Foi também feita a verificação das condições de funcionamento da UTA3, após a constatação de que tinha sido colocada fora de serviço sem avaliação prévia de danos.

#### Unidades de ventilação

Foi realizada a identificação da localização física, localização do quadro elétrico de distribuição e zonas beneficiadas de cada ventilador. A descrição é apresentada na Tabela 13.

Tabela 13: Quadro elétrico, designação, local e zonas beneficiadas - VEs

Quadro elétrico	Designação e local das UTAs	Zonas beneficiadas
QAVAC 1	VE 1 Telhado Norte	Extração de ar dos laboratórios de moagem
QAVAC 2	VE 2 Telhado Sul	Extração de ar das instalações sanitárias
QAVAC 3	VE 3 Telhados entre pisos	Extração de ar das instalações sanitárias
QAVAC 1	VE 4 Telhado Norte	Extração de ar das instalações sanitárias
QAVAC 2	VE 5 Telhado Sul	Extração de ar dos laboratórios <sup>*3</sup>
QAVAC 2	VE 6 Telhado Sul	Extração de ar dos laboratórios <sup>*3</sup>
QAVAC 1	VE 7 Telhado Norte	Extração de ar dos laboratórios <sup>*3</sup>
QAVAC 1	VE 8 Telhado Norte	Associada à UTA 3
QAVAC 3	VE 9 Telhados entre pisos	Extração de ar do Parque de Sondas

<sup>3</sup> Funcionam durante mais tempo devido à especificidade das suas funções, evitando, no entanto, as horas de ponta.

Após uma vistoria aos ventiladores do telhado, foi possível concluir quanto ao seu estado de funcionamento e de degradação. Foi então realizado o plano das intervenções essenciais:

- a) Remoção do ventilador de cobertura (VH9) para limpeza e reparação.

#### Sistema de distribuição

As tarefas realizadas foram:

- a) Inversão de ciclo;
- b) Reestruturação do sistema de distribuição;
- c) Reconstituição do sistema de purgas;
- d) Verificação das condições de funcionamento das válvulas de seccionamento motorizadas.

Após a vistoria inicial, foi realizado o planeamento dos trabalhos a realizar nas eletrobombas hidráulicas, que consistiram na reparação e instalação das:

- a) BVCs: limpeza e substituição de rolamentos, limpeza das turbinas, ajuste do caudal e redução da potência elétrica;
- b) BQ: limpeza e substituição dos rolamentos, da chumaceira e do grupo turbina/impulsor, substituição do empanque e retentor e redução da potência elétrica;
- c) BFs: limpeza e substituição dos rolamentos, da chumaceira, do grupo turbina/impulsor e da adução/compressão (entrada/saída) de água, substituição do empanque e retentor e redução da potência elétrica.

#### Unidades ventiloconvectoras

De acordo com informação que certos gabinetes não estariam a ser climatizados, foi iniciada a reparação de doze unidades ventiloconvectoras e efetuadas as seguintes tarefas:

- a) Limpeza do sistema aeráulico e filtros;
- b) Alteração do sistema de adução de água;
- c) Redução da potência;
- d) Inibição do sistema de controlo de temperatura local;
- e) Instalação das unidades reparadas e verificação das condições de funcionamento.

### **4.2 Aplicação do modelo “predictor-corrector”**

O sistema AVAC possuía um problema derivado às pressões de funcionamento do sistema hidráulico, que se devia a uma fuga existente e também à própria estrutura do sistema de distribuição central.

#### Sistema hidráulico

Foi identificado um volume excessivo de consumo de água no edifício em questão, pelo que se procedeu à análise inicial, previsão e correção do problema. (Abreu, 2005)

O primeiro passo consistiu na recolha de informação de elementos relativos ao local de consumo, como a consulta das faturas mensais, revisão do projeto da rede de água e identificação dos equipamentos e instrumentos utilizados para o efeito. (Abreu, 2005)

Como a fatura da água não contém informação suficiente para detetar perdas, foi utilizado o modelo “predictor-corrector”, que tem por objetivo concluir se existe uma componente de perdas não localizada, cuja dimensão implique a implementação de medidas e ações de reparação e manutenção na rede de água. (Abreu, 2005)

No sistema hidráulico, o fator de perdas que não é controlável é a necessidade de pressão constante ao longo da principal rede de distribuição (SiMAS). Já as fugas nas canalizações internas do LNEG são controláveis e podem ser minimizadas. (Abreu, 2003)

A identificação no local correspondente à fuga, efetuou-se isolando a rede interna da rede pública, para a realização de testes de estanquidade e determinação de caudais de perdas de cada troço acessível.

A determinação dos elementos da matriz caudal é feita por etapas, identificando-se os troços a reparar. A matriz caudal total é então obtida através do produto entre a matriz dos caudais locais e a matriz relativa a cada troço estudado. (Abreu, 2005) (Abreu, 2003)

Os troços não acessíveis (parte enterrada da rede), estimaram-se por aproximações sucessivas, tendo em conta a pressão medida nas extremidades e a pressão de projeto.

Como a maioria do troço onde se previu a localização da fuga se encontrava enterrado, optou-se por colocar temporariamente um novo troço de tubagem à superfície (*shunt* hidráulico) entre o ponto de entrada de água e uma zona a jusante da fuga.

As intervenções realizadas permitiram a manutenção da pressão da rede à entrada, realizando um controlo com recurso a uma válvula, de forma a regular o fator de ciclo, que permite variar o intervalo temporal de entrada de água.

Quando é interrompido o fornecimento de água, a pressão na cobertura (onde se localizam os equipamentos do sistema AVAC no piso 4) é reduzida, porém é suficiente para o funcionamento destes.

Esta otimização foi efetuada sem utilização de hidrobombas de circulação (consumidoras de energia elétrica) na passagem da rede pública para a privada, visto que se utilizou a diferença natural do declive, assim como a pressão da rede de água do SiMAS.

### Energia elétrica

No que se refere à energia elétrica, as faturas apresentam a energia total consumida num determinado período (normalmente mensal ou bimensal). Porém, segundo estas, a parcela relativa às perdas não pode ser determinada.

Deste modo, tendo em conta o objetivo de eficiência energética, o método “predictor-corrector” permite identificar e quantificar as perdas existentes, de modo a ser possível a sua correção ou, se não for possível, minimizar os efeitos adversos.

Existem fatores de perdas que são intrínsecos, ou seja, estão sempre presentes, como a resistência e reatância das linhas e cabos de transmissão, que não são evitáveis. O fator trânsito de energia reativa, pode ser minimizado ou até eliminado, após a sua identificação, recorrendo a vários métodos corretivos adequados à situação em estudo. (Abreu, 2005) (Abreu, 2003)

No caso da energia elétrica, a matriz energia é dada pelo produto da matriz linha das potências instantâneas pela matriz coluna tempo.

$$\begin{bmatrix} \text{Energia } t1 \\ \text{Energia } t2 \\ \dots \\ \text{Energia } tn \end{bmatrix} = [\text{Potência } t1 \quad \text{Potência } t2 \quad \dots \quad \text{Potência } tn] \begin{bmatrix} t \ 1 \\ t \ 2 \\ \dots \\ t \ n \end{bmatrix} \quad (15)$$

No que diz respeito ao caso de estudo, foi utilizada esta metodologia de correção relativamente aos equipamentos consumidores de energia elétrica, tais como os *Chillers*, hidrobombas e unidades de tratamento de ar.

Relativamente aos *Chillers*, a redução da pressão na rede de água, juntamente com o aumento do caudal de água (através do aumento de potência das hidrobombas de frio), possibilitou que a velocidade da água à entrada do permutador fosse a mais alta possível e em regime turbulento. Isto permitiu, não só a limpeza das canalizações removendo as impurezas e incrustações, como também o aumento da eficiência.

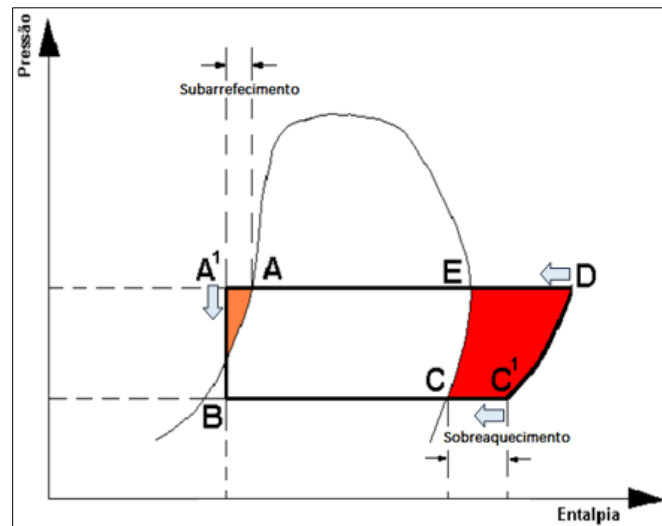


Figura 51: Alterações ao ciclo *p-h* através do método corretivo

As setas representadas na Figura 51 simbolizam o método corretivo utilizado.

O aumento da potência de ventilação, possibilitou a redução da pressão de condensação e do sobreaquecimento (devido ao calor mecânico do compressor). O COP aumentou visto que a potência frigorífica se manteve aproximadamente constante e a potência elétrica foi reduzida. Foi também reduzido o risco de fuga do gás refrigerante.

A metodologia utilizada com o intuito de otimizar as unidades de tratamento de ar, consistiu no aumento da potência térmica destas, ao utilizar-se as duas resistências existentes, quer na estação de arrefecimento, quer na estação de aquecimento. Foram também intervencionados os grupos motoventiladores, de modo a aumentar a eficiência do processo de ventilação.

Quanto ao sistema de distribuição, a sua reestruturação para funcionamento a baixa pressão, possibilitou a simplificação do processo de distribuição de água.

### Caldeira

O modelo de previsão em questão permitiu uma avaliação exata do estado inicial do sistema de aquecimento, seguido da análise da quantidade de gás propano consumido, através das faturas dos carregamentos. (Abreu, 2005) (Abreu, 2003)

No caso da utilização do método “predictor-corrector” associado ao consumo de gás propano, a matriz volume é dada pelo produto entre a matriz linha dos caudais instantâneos e a matriz coluna tempo.

$$\begin{bmatrix} \text{Volume } t1 \\ \text{Volume } t2 \\ \dots \\ \text{Volume } tn \end{bmatrix} = [\text{Caudal } t1 \quad \text{Caudal } t2 \quad \dots \quad \text{Caudal } tn] \begin{bmatrix} t1 \\ t2 \\ \dots \\ tn \end{bmatrix} \quad (16)$$

O método corretivo consistiu na correção de isolamento térmico com alteração da estrutura de canalizações de gás, eliminação de fugas de gás e de água, intervenção ao nível do sistema de exaustão, otimização da razão estequiométrica do combustível e redução do ciclo de funcionamento, com implementação de um algoritmo de gestão do tempo de queima.

### 4.3 Intervenções corretivas

O sistema de gestão do sistema AVAC existente deixou de ser utilizado de modo consultivo como ocorria anteriormente. Deste modo, durante o período de intervenções, a gestão deste sistema passou a ser manual e utilizou-se o mínimo de eletrónica possível, de forma a permitir uma utilização simples e eficiente deste sistema.

De modo a possibilitar a implementação de um sistema de gestão mais simples e eficiente, assim como a compensação da energia reativa do sistema AVAC, foram passados cabos elétricos de três ou cinco condutores e cabos de dados, desde a sala técnica do AVAC até ao PT, através das *courettes* e esteiras existentes (Anexo XII). É de referir que, devido à longa distância entre os dois locais, ocorre uma ligeira queda de tensão.

Assim, a compensação de reativa atualmente feita no PT, através de baterias de condensadores, deverá posteriormente ser realizada na sala técnica do AVAC.

De seguida são descritas as intervenções realizadas no sistema AVAC do edifício.

#### 4.3.1 *Chillers*

##### 4.3.1.1 Medição de pressões no compressor

Com o objetivo de testar as pressões do gás refrigerante R-22, para identificação de eventuais fugas, procedeu-se à realização de medições no compressor 1 do *Chiller* 2, com recurso a um manómetro tipo *Bourdon*. Este é um instrumento utilizado para medir a pressão de fluidos (líquidos ou gases) contidos em recipientes fechados. Esse mede a diferença entre a pressão real ou absoluta e a pressão atmosférica, chamando-se a este valor pressão manométrica.

Foram efetuadas medições nos pipos de acesso do compressor, de baixa e alta pressão, comprovando-se os valores indicados nos manómetros do respetivo compressor.



Figura 52: Colocação dos tubos do manómetro nas corretas posições

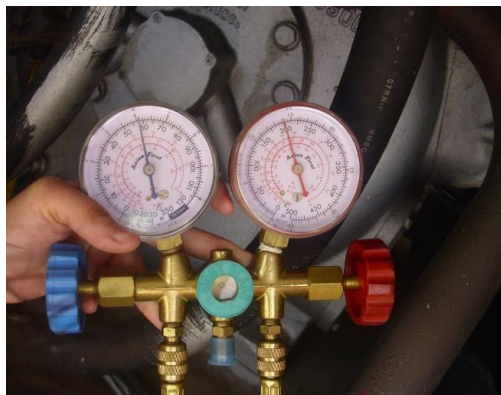


Figura 53: Medição das pressões baixa e alta através dos manómetros respetivos

No final das medições, já com os tubos fixos nos locais certos, é possível observar que a baixa pressão é de 32 psi e a alta de 102 psi, aproximadamente. Estes valores são adequados para um ciclo que ocorre com o refrigerante R-22 (EW Lemmon, 2010), concluindo-se que este fluido está ainda a um nível aceitável.

#### 4.3.1.2 Substituição da resistência de aquecimento do compressor

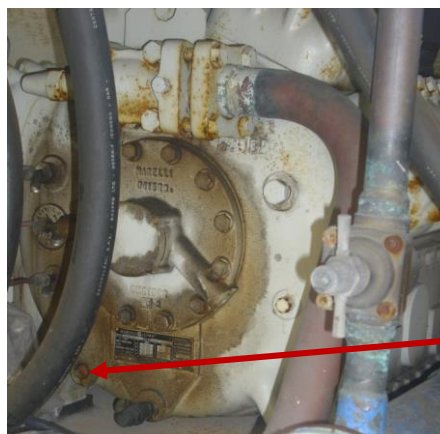


Figura 54: Compressor 1 do *Chiller* 1

Devido ao facto da resistência de *Carter* estar com defeito no isolamento elétrico permitindo a fuga de corrente para a terra, decidiu-se substituí-la por uma nova feita por encomenda, visto que estas já não são produzidas. A nova resistência cumpriu as exigências de segurança e teve um baixo preço.



Figura 55: Resistência defeituosa



Figura 56: Resistência Nova

Foram também substituídas as resistências de descongelação existentes nos permutadores.

#### 4.3.1.3 Circuitos elétricos

Procedeu-se à substituição das bobinas (solenóides) das eletroválvulas de alimentação das válvulas de expansão.



Figura 57: Bobinas das eletroválvulas (válvulas de expansão)

Foram também intervencionados os circuitos elétricos dos pressóstatos.

#### 4.3.1.4 Pintura de toda a estrutura e componentes

Foram tratadas todas as placas de sustentação e proteção dos *Chillers*, começando pela sua limpeza, seguida de remoção de tinta, incrustações e ferrugem com recurso a escovas de arame e a uma rebarbadora com escovilhão.

De seguida procedeu-se à aplicação de um diluente sintético, seguida de pintura das mesmas. Esta intervenção, para além de possuir vantagens visuais, constitui um revestimento que protege os equipamentos contra humidade e consequente corrosão das zonas metálicas.



Figura 58: Tratamento de placas estruturais com recurso a rebarbadora com escovilhão



Figura 59: Pintura das placas de suporte dos ventiladores

As tubagens e materiais constituintes destas, tais como válvulas de cunha, uniões antivibráticas, torneiras, entre outros, foram também tratados com recurso a escovas de arame e por fim pintados.



Figura 60: Pintura de torneiras e válvulas de cunha



O permutador foi limpo, tratado e posteriormente pintado.

A tinta utilizada nestes trabalhos é um esmalte denominado *Hammerite*, que possui a vantagem de servir de primário e acabamento.

Foram também colocados novos apoios estruturantes nos permutadores, de forma a ficarem numa posição totalmente horizontal.



Figura 61: Pintura do permutador - *Chiller 1*

Utilizaram-se diversos tipos de tintas, dependendo do material a tratar em questão.

#### **4.3.1.5 Reorganização das placas ventiladoras**

As quatro placas de sustentação dos eletroventiladores existentes foram recolocadas depois de pintadas e furadas, de modo a que ficassem duas placas em cada extremidade e a placa sem ventiladores no meio, de modo a aumentar a eficiência do processo de ventilação.



Figura 62: Reorganização das placas de suporte dos ventiladores

Instalou-se também um sistema de drenagem na cobertura dos *Chillers*, de modo a evitar a formação de humidades e acumulação de água, que podem provocar corrosão dos materiais e passagens à terra se entrar humidade nas caixas de ligação dos ventiladores.



Figura 63: Colocação das placas de suporte dos ventiladores - *Chiller 1*

#### **4.3.1.6 Manutenção/reparação e medição de consumos dos ventiladores**

Foi verificado o funcionamento dos ventiladores de ambos os *Chillers*, que correspondeu à realização de testes e medições de consumos com o intuito de apurar quais necessitavam de reparação.

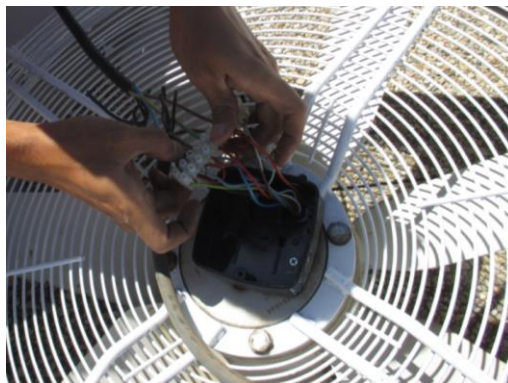


Figura 64: Testes e medições aos ventiladores

Procedeu-se ao isolamento dos ventiladores que apresentavam defeitos de isolamento nos enrolamentos, ou seja, que apresentavam as caixas de ligação com humidade ou com os condutores eléctricos mal montados.

Após a ligação de cada ventilador separadamente, foi possível concluir que um dos ventiladores do *Chiller1* se encontrava avariado, tendo esse sido reparado por um técnico electricista rebobinador.

A intensidade de corrente entre fases de um dos ventiladores encontrava-se ligeiramente desequilibrada (4; 3,2; 4 A), pelo que se optou pela sua utilização de forma cautelosa, procedendo-se à ligação deste durante períodos de tempos constantes, de modo a garantir que não ocorria sobreaquecimento, como foi efetivamente comprovado.

Os restantes ventiladores encontravam-se em boas condições de funcionamento.



Figura 65: Ventilador com enrolamentos queimados



Figura 66: Ventilador bobinado

Quando se realizaram as ligações eléctricas dos terminais do motor de cada ventilador, foi estudado qual o melhor método de ligação de modo a reduzir a corrente em cada fase.

A Figura 67 apresenta o esquema de terminais das bobinas, para um motor deste tipo.

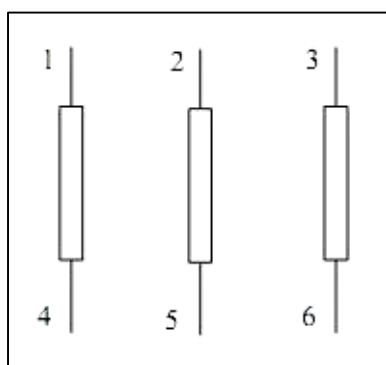


Figura 67: Representação dos terminais de um motor com seis terminais (três enrolamentos e seis terminais) (O blog dos Eletricistas, 2013)

Nos motores em estudo, cada um com três pares de polos, ou seja, seis terminais, a ligação entre estes pode ser feita em estrela ou em triângulo (Figura 68).

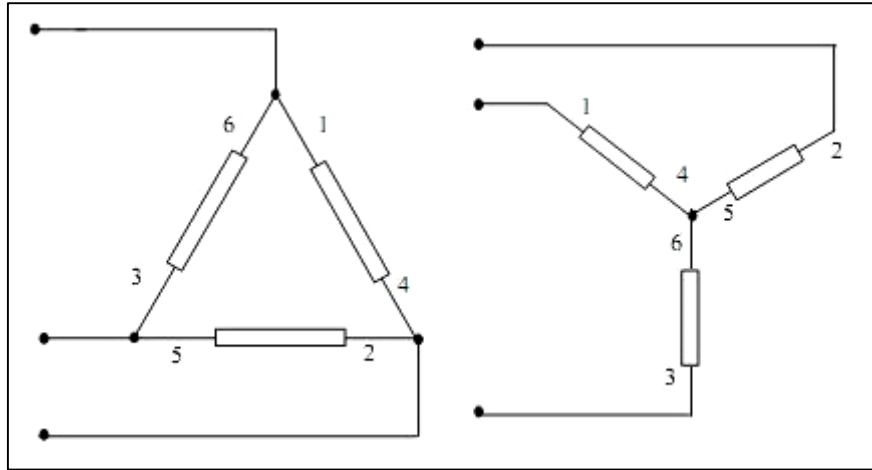


Figura 68: Diagrama representativo de uma ligação em triângulo (esquerda) e em estrela (direita) (O blog dos Eletricistas, 2013)

Considerando uma rede trifásica equilibrada, ou seja, um sistema trifásico em que a amplitude das três tensões simples é  $U_s$ , igual nas três fases e simétrica, visto as tensões estarem desfasadas entre si  $120^\circ$ .

A tensão composta (tensão entre fases) é dada por (Resende, 2010):

$$U_c = \sqrt{3} U_s \quad (17)$$

Numa ligação de tipo estrela, a amplitude da tensão aplicada a cada fase da carga é a amplitude de uma tensão simples (tensão entre o condutor fase e o neutro) (Resende, 2010), ou seja, cada bobina está à tensão de aproximadamente 230V (em Portugal).

Neste tipo de ligação, a corrente em cada fase da carga corresponde à corrente de linha e a impedância de cada enrolamento é representada por  $Z$ . (Resende, 2010) Assim, a corrente em estrela é dada por:

$$I_{L*} = \frac{U_s}{Z} \quad (18)$$

Já numa ligação de tipo triângulo, a amplitude da tensão aplicada a cada fase da carga é uma tensão composta, ou seja, cada bobina recebe aproximadamente 380V (Resende, 2010).

Neste tipo de ligação, a amplitude da corrente na linha é  $\sqrt{3}$  vezes superior à corrente que percorre a fase da carga, assim:

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3} \frac{U_c}{Z} = 3 \frac{U_s}{Z} \quad (19)$$

É então possível verificar que a amplitude da corrente de linha, quando uma carga está ligada em triângulo, é três vezes superior à amplitude da corrente de linha quando essa mesma carga está ligada em estrela (Resende, 2010).

$$I_{L\Delta} = 3I_{L*} \quad (20)$$

Neste tipo de ligação, durante a alimentação de cada condutor da carga aos terminais, o condutor neutro fica desligado. (Resende, 2010)

Conclui-se que no cálculo da potência ativa, embora a expressão utilizada seja independente do tipo de ligação, a corrente que circula na linha é três vezes superior quando uma carga trifásica é ligada em triângulo, logo a potência elétrica neste caso é também três vezes superior à de uma carga ligada em estrela:

$$P_{\Delta} = \sqrt{3} U_c I_{L\Delta} \cos\varphi \quad (21)$$

$$P_{\star} = \sqrt{3} U_C I_{L\star} \cos\varphi \quad (22)$$

$$P_{\Delta} = 3P_{\star} \quad (23)$$

Deste modo, verifica-se que a corrente (e potência ativa) em modo de ligação triângulo é três vezes superior do que em estrela (Resende, 2010).

No caso em estudo, com o objetivo de redução de consumos faria sentido proceder a uma ligação do tipo estrela, visto que a corrente é inferior. Porém, como o circuito de ventilação das unidades produtoras de frio se encontra subdimensionado, é necessária uma maior potência de ventilação para aumentar a eficiência do processo de produção de frio. Deste modo, procedeu-se à ligação dos terminais dos motores dos ventiladores em triângulo.

Estes motores de seis terminais podem ainda ser ligados de modo a fazer um arranque em estrela-triângulo (*Star-Delta starting method*). Neste tipo de ligação, é feita uma comutação de modo a que o arranque seja em ligação do tipo estrela e o funcionamento numa ligação do tipo triângulo. Os componentes utilizados normalmente com este fim são três contactores, um relé de proteção de sobrecarga de corrente e um temporizador que define o período temporal em que a ligação do tipo estrela ocorre. Esta configuração permite um arranque com uma maior impedância e menor tensão aos terminais das bobinas, reduzindo assim a corrente de arranque (aproximadamente em 1/3) e quando a rotação for superior a 90%, que seja feita a comutação para permitir um funcionamento a uma maior potência (H. H. Goh, 2009).

Porém este tipo de ligação exige material e uma ligação elétrica algo complexa. Deste modo, não foi realizada nos *Chillers* em estudo.

Posteriormente, antes de se colocarem os ventiladores e placas de suporte no topo dos *Chillers*, foram ligados em paralelo os ventiladores para verificação da sincronização entre estes, do sentido de rotação e possíveis problemas na montagem das placas aos ventiladores.

Foi verificada a ordem de ligação, uma vez que a troca de duas das fases tem como consequência a inversão do sentido de rotação das pás dos ventiladores.



Figura 69: Ligação em série dos ventiladores

Foram também feitas medições para verificar se existiam passagens à terra entre cada bobina de cada ventilador e a sua massa (ou fio terra), recorrendo a um multímetro posicionado na posição de ohmímetro para medir resistências.

No final, foram colocadas as placas de suporte, seguindo-se a colocação dos ventiladores. Procedeu-se à ligação em paralelo entre ventiladores e foram verificadas as condições de funcionamento e o sentido de rotação das pás de cada um.





Figura 70: Colocação dos ventiladores nas placas de suporte

#### **4.3.1.7 Recolocação das tubagens de água e substituição de diversos equipamentos**

Para uma maior facilidade no tratamento e pintura das tubagens de água de entrada e saída no permutador, foram retiradas as tubagens, uniões antivibráticas e válvulas de cunha. Foram reutilizados alguns parafusos, porcas e anilhas, mas outros foram adquiridos por se encontrarem partidos.

Nas zonas de união entre flanges, foram colocadas borrachas termoretráteis.

Os furos dos componentes existentes nas tubagens de entrada e saída de água do permutador foram redimensionados, aumentando-os e soldando novos acessórios roscados de  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{2}$  polegada para colocação de fluxóstatos, sondas de temperatura, manómetros e purgadores.

Os elementos que se encontravam danificados, sem possibilidade de arranjo foram substituídos por novos.



Figura 71: Soldadura das roscas colocadas nas tubagens (Eng. António Abreu)

Foi também corrigido o problema hidráulico detetado na tubagem de entrada de água no permutador. A solução encontrada para solucionar o problema de entrada de ar no permutador, consistiu em colocar um purgador manual na canalização de entrada para que, o responsável pela manutenção destes equipamentos, proceda à purga do ar na canalização, de acordo com o plano de manutenção estruturado, facilitando a expulsão do ar do permutador.

Por fim montaram-se as tubagens de entrada e saída de água no permutador, em ambas as unidades produtoras de água fria.



Figura 72: Montagem da união antivibrática da tubagem de entrada de água no permutador

Os esquemas representados no Anexo XIII, representam o esquema final de instalação dos equipamentos nas tubagens de saída e de entrada no permutador, respetivamente.

#### **4.3.1.8 Restruturação do quadro de comandos e componentes (correção de um erro de projeto)**

Procedeu-se à instalação de proteção diferencial no circuito de comandos de modo a que exista uma atuação sempre que haja variações bruscas de corrente, que podem indicar passagens à terra.

Foram intervencionados o comando de potência dos compressores e as fontes de alimentação das sondas de temperatura.

Instalaram-se relés eletromecânicos nos circuitos de ventilação e compressão. Estão ligados ao estator do motor agregado ao ventilador ou compressor (conforme o caso) e constituem um sistema de proteção, ao desempenharem as seguintes funções (Alisson S. Takahashi, 2006):

- Potência inversa, de forma a impedir o funcionamento do motor elétrico como gerador;
- Proteção diferencial, contra curto circuitos entre rolamentos em fases diferentes;
- Proteção contra curto circuitos de espiras de excitação;
- Proteção contra abertura nos circuitos de excitação;
- Proteção contra defeitos em massa, do estator e do rotor;
- Proteção contra sobreaquecimento no estator.

De modo a corrigir o erro de projeto no dimensionamento do circuito de comando de ventilação no quadro elétrico dos *Chillers*, colocou-se um contactor com maior poder de corte para cada grupo de quatro ventiladores, retirando os contactores e os fusíveis existentes anteriormente, que para além de estarem danificados, são de difícil substituição por terem entrado em desuso.

É de referir que os novos contactores colocados foram reutilizados de outro equipamento que já não estava em utilização. Os fusíveis foram substituídos por disjuntores tripolares magnetotérmicos, que apresentam maior fiabilidade, permitindo o funcionamento integrado e seguro de cada *Chiller*.



Figura 73: Instalação dos contactores de 400V no circuito de ventilação

O esquema representado na Figura 74 apresenta a modificação efetuada.

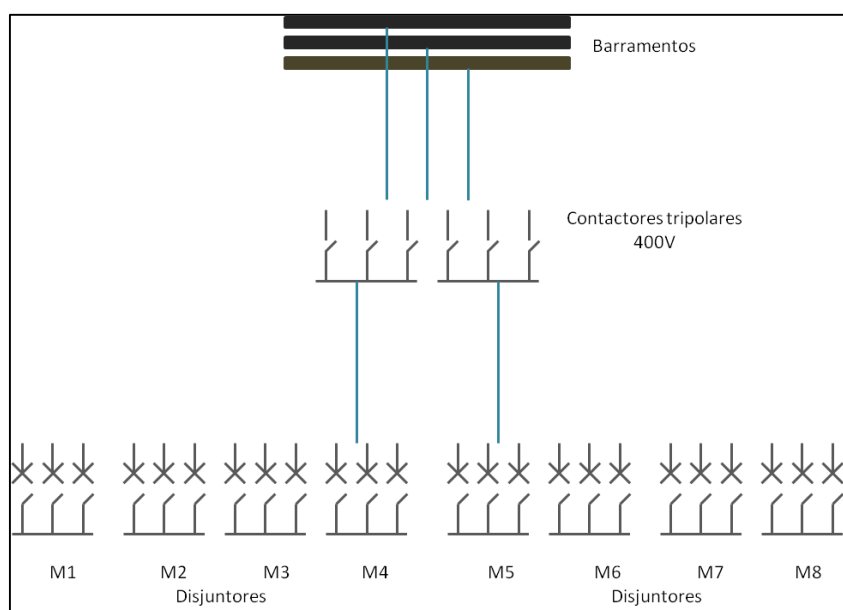


Figura 74: Situação do novo esquema do circuito de ventilação

Foram reorganizados os relés dos quadros de comando dos *Chillers*, substituindo os relés correspondentes aos pressóstatos, de modo a que ficassem todos com 24Vac.

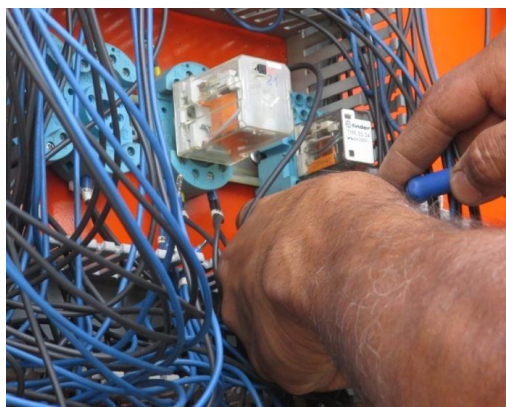


Figura 75: Reestruturação dos relés



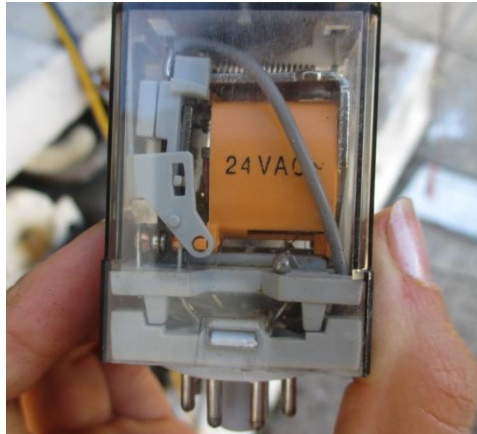


Figura 76: Colocação de novos relés de 24V ac

## 4.3.2 Caldeira

### 4.3.2.1 Montagem da canalização de gás e de outros componentes

A montagem incluiu a canalização em latão, roscas, eletroválvulas de potência, manómetros, redutor de pressão, contador de gás, entre outros componentes essenciais para assegurar uma segura passagem de gás até à caldeira.

Visto que a canalização de gás e alguns dos equipamentos eram desadequados ao funcionamento correto e seguro da caldeira, algum do material ainda em condições foi reutilizado e o restante foi renovado.

A válvula de segurança instalada possui um eletroímã, composto por um núcleo e uma armadura (solenóide), que funciona através da criação de um campo magnético axial que atrai o eletroímã. Para utilizações em corrente contínua (como é o caso) os componentes devem ser em ferro macio.

Após a preparação e montagem prévia, os componentes foram instalados e montados no local e as ligações elétricas das caixas de comando foram efetuadas.



Figura 77: Montagem e ligação dos novos componentes de passagem de gás

#### 4.3.2.2 Verificação da inexistência de fugas

Após a montagem e instalação da canalização de gás e outros componentes, foi efetuada uma vistoria visual e de seguida, foi feito um teste para verificar a inexistência de fugas de gás.

Foi então realizada uma mistura saponária e de seguida colocada sobre as junções e outras ligações roscadas, onde é mais natural que ocorram as fugas.

Constatou-se não existirem fugas na canalização, visto que a espuma se manteve estacionária.



Figura 78: Realização de um teste de fugas

#### 4.3.2.3 Instalação da ligação amovível e do contador

A colocação de uma ligação amovível em *inox* permite a vistoria das condições de funcionamento das ligações da caldeira, com muito mais facilidade, permitindo cumprir os requisitos definidos, atingir a eficiência desejada e também que possa ser realizada a contagem do gás através do caudalímetro, que permite ainda a monitorização dos consumos e a determinação da potência.



Figura 79: Instalação final do contador de impulsos

Atualmente as pressões de funcionamento do sistema caldeira-hidrobombas são inferiores a 20 mbar na baixa pressão e de 500 mbar na alta pressão (de entrada).

#### 4.3.2.4 Limpeza da entrada de ar e dos injetores e calibração da razão estequiométrica

A caldeira não tinha um filtro na zona de entrada de ar, possibilitando a admissão e acumulação de sujidade que causou uma avaria do motor. Este estrago provocava dificuldades no arranque da caldeira, impedindo um funcionamento correto e seguro da mesma.

Devido à falta de manutenção e limpeza, foi necessário proceder à abertura da zona de entrada de ar, limpa a sujidade e concertado o motor que se encontrava gripado.

Foi também feita a limpeza dos injetores e a calibração da razão estequiométrica, que permitiu afinar a cor da chama (uma chama azulada indica uma alta eficiência do processo de queima, ao contrário de uma chama amarelada), o odor dos gases de escape e a melhoria das condições de funcionamento e de queima da caldeira.

A otimização dos processos de queima resultou na descida de temperatura da água dos 90°C para os 60°C, tendo em consideração os perigos de formação de condensados e de contaminantes como a legionela.



Figura 80: Zona de entrada de ar (sem filtro)

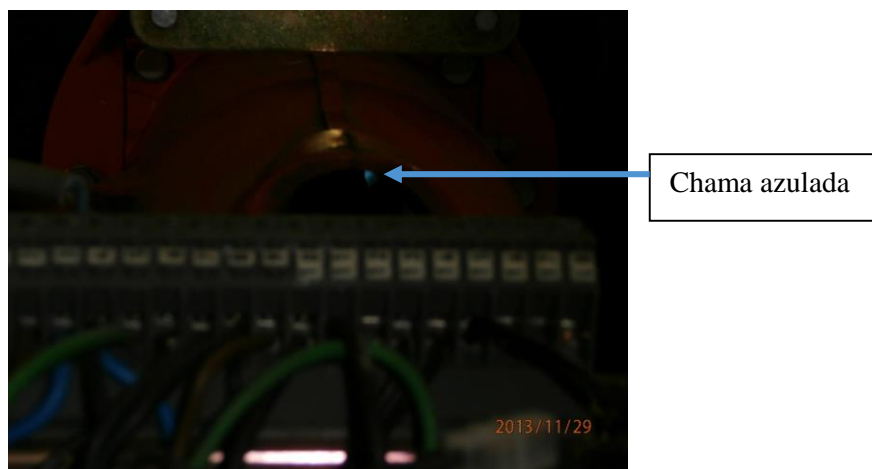


Figura 81: Otimização da razão estequiométrica

#### 4.3.2.5 Carregamento do depósito de gás

Frequentemente é feito o levantamento do nível de gás propano no depósito existente na zona Sul do terreno. Quando a percentagem de gás existente do depósito atinge um limite mínimo de cerca de 20%, é pedido um carregamento através de pessoal e equipamento habilitado da GALP Energia. O depósito, com uma capacidade total de 7480 dm<sup>3</sup>, fica normalmente carregado entre os 80% e os 90%, por questões de segurança.



Figura 82: Carregamento de gás por parte de um técnico especializado

A localização do depósito não é a mais indicada, uma vez que existe um fotobiorreator a menos de dez metros do depósito e também uma ETAR, que embora desativada, pode funcionar como acelerador em caso de explosão ou fuga do gás.

#### 4.3.2.6 Instalação de equipamentos de regulação e controlo

Por questões de segurança, é importante que a caldeira seja capaz de parar em três situações fundamentais:

- a) Quando não há passagem de água pela tubagem;
- b) Quando há uma fuga;
- c) Quando não há gás.

Isto é importante porque impede que a caldeira aqueça sem que haja ar ou água parados dentro das canalizações, uma vez que podem dar-se variações bruscas de temperatura e pressão, que poderão provocar fissuras no corpo da caldeira em ferro ou danificar a canalização de água quente.

Para garantir que a caldeira pare quando não há passagem de água, foi instalado um encravamento que recebe informação de um fluxóstato instalado na canalização de água. Este, quando não houver passagem de água, envia um sinal elétrico que faz com que a caldeira pare.

Para a eventualidade de o fluxóstato avariar, foi instalada uma proteção hidráulica (*shunt* hidráulico), que consiste num caminho curto que permite que o encravamento atue para parar a caldeira, quer com um caudal pequeno de água, quer com um caudal quase inexistente. O fluxóstato deteta quando a água não está a circular e de seguida, o *shunt* manda um sinal elétrico à caldeira para que esta pare.

A existência de um fluxóstato consiste numa segurança adicional, apesar da existência de termóstatos, visto que o fluxóstato possui uma menor constante de tempo, sendo mais rápido a acionar os sistemas de segurança. O termóstato funciona com diferenças de temperatura e por essa razão é menos fiável, já

que, quando esse deteta uma temperatura elevada, o sistema da caldeira poderá estar já em situação de perigo.

Para retomar o funcionamento da caldeira, é necessário verificar que já há passagem de água e, de seguida reiniciar a caldeira, carregando no botão de arranque da caixa de comando.



Figura 83: Instalação do fluxóstato

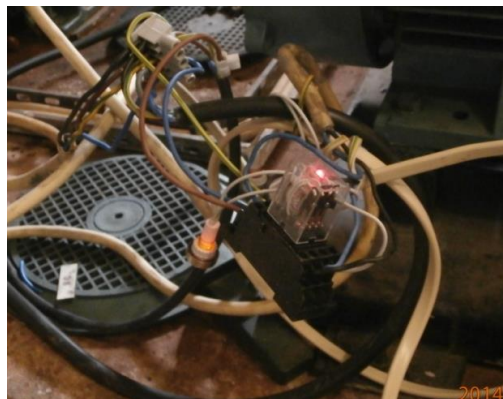


Figura 84: Relé a funcionar como encravamento de segurança e sinalização de aviso

Foi instalado um detetor de gás (proprano/butano) junto ao chão, próximo da torneira de entrada de gás. Em caso de eventual fuga, este emite um alarme sonoro no local e acende uma luz LED de aviso. Simultaneamente é emitido um sinal de alarme à sala da gestão/segurança, à sala da manutenção e à sala do Engenheiro António Abreu.

Consequentemente, tal como acontece quando há falta de gás propano, a válvula de segurança corta a alimentação do gás e dá um sinal à caldeira para parar.

Para retomar o funcionamento desta, é necessário confirmar, dependendo do caso, que a fuga já não está ativa ou que já existe gás, e rearmar a válvula manualmente, reiniciando de seguida a caldeira, pressionando o botão de arranque da caixa de comando.





Figura 85: Detetor de gás instalado

Foram testadas as três possibilidades para aferir se os aparelhos instalados e métodos utilizados estavam a funcionar corretamente e com o propósito a que se destinavam.

#### **4.3.2.7 Remoção da chaminé e reinstalação desta**

Relativamente à chaminé de exaustão dos gases de combustão, procedeu-se à desmontagem da forra para ser possível verificar qual o estado da mesma.

Concluiu-se que esta teria de ser substituída devido ao elevado estado de degradação. Assim, foi removida a chaminé existente no teto da sala do AVAC, que como se esperava, apresentava um elevado grau de corrosão, apresentando até roturas consequentes da ferrugem acumulada.



Figura 86: Remoção da chaminé de exaustão

Realizou-se também a furação da parede, reutilizando uma parte da caldeira em melhores condições, colocando-a a sair em linha reta a partir da caldeira. O facto de a chaminé ser colocada num local mais baixo permite reduzir os custos e facilitar as tarefas de manutenção.

A abertura previamente existente no teto servirá de entrada de ar.



Figura 87: Colocação de parte da chaminé a sair pela parede

### 4.3.3 Ventilação

#### 4.3.3.1 Unidades de tratamento de ar

Procedeu-se à ligação das unidades de tratamento de ar e efetuou-se também a limpeza das tubagens sob a forma de purgas, de modo a impedir a acumulação de contaminantes no sistema e a contribuir para a circulação de água.

##### 4.3.3.1.1 *Reparação da UTA3*

Foi verificado o estado de funcionamento e degradação do sistema mecânico (correias e *polias*) e do sistema elétrico, na zona do motoventilador, tendo-se concluído não existir qualquer avaria.

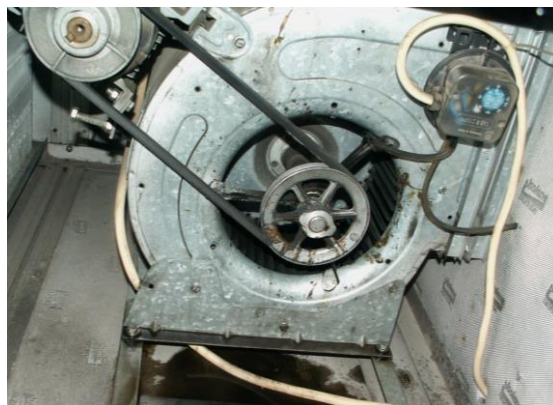


Figura 88: Verificação do estado de funcionamento do grupo moto ventilador

Foram então reparados os equipamentos avariados da UTA3. Foi feita uma limpeza aos componentes que apresentavam corrosão e sujidade, abriram-se as válvulas que não funcionavam por estarem entupidas, foram substituídas algumas roscas que se encontravam danificadas e foi reconstituído o sistema elétrico das eletroválvulas.

É de referir que após as intervenções, foi realizada a purga das tubagens desta unidade.



Figura 89: Purga das tubagens da UTA3

Com a limpeza das grelhas de insuflação e de extração existentes na zona do edifício referente à unidade em questão, deu-se como comprovada a potencialidade das infraestruturas de distribuição e tratamento de ar.

Foi também instalado na entrada da zona a climatizar, um regulador que permite a regulação da temperatura pretendida.



Figura 90: Regulador de temperatura instalado

#### ***4.3.3.1.2 Reparação da UTA2***

Procedeu-se ao ajustamento da correia que apresentava folgas, através da recolocação do motor ligeiramente para a esquerda até que a correia oscilasse apenas cerca de 1cm, não podendo ficar muito tensa para não quebrar.



Figura 91: Grupo motoventilador da UTA2 com folga nas correias de transmissão

Foi removida a correia danificada e colocada uma nova.



Foi também removida para reparação e limpeza, a *polia* do grupo motoventilador, tendo sido posteriormente colocada. É de referir que as *polias* desta unidade e também da UTA6 deverão ser renovadas.

Verificou-se o correto funcionamento desta unidade, após as intervenções realizadas.

#### ***4.3.3.1.3 Reorganização do sistema de distribuição nas unidades de tratamento de ar***

As intervenções realizadas a este nível permitem reduzir a acumulação de água durante longos períodos de tempo e as consequências que advém dessa situação.

As caixas de comando das válvulas modulantes de três vias para controlo da água quente e fria, situadas nas tubagens de água (quente e fria), foram removidas para ser possível a reestruturação deste sistema.

Foram conectadas as tubagens que anteriormente serviam para distribuição de água às serpentinas correspondentes e colocada apenas uma válvula modulante de três vias para servir de comando. Quanto às caixas de comando destas, algumas foram reparadas e colocadas de seguida para serem utilizadas.



Figura 92: Remoção das caixas de comando das válvulas de três vias

#### ***4.3.3.1.4 Reestruturação e reparação da unidade UTV***



Figura 93: Reestruturação da UTV

Devido às características do local e ao estado de degradação da unidade, decidiu-se utilizá-la apenas como unidade térmica, não havendo a necessidade de utilização da função de ventilação.

Foram removidas as resistências para se proceder à sua limpeza.

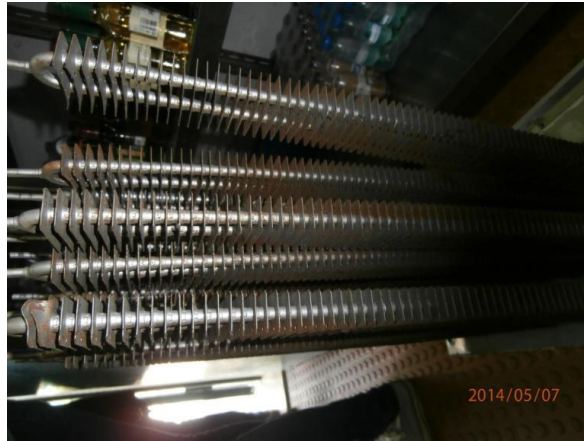


Figura 94: Bateria de resistências removida da UTV

#### ***4.3.3.1.5 Verificação das condições de funcionamento da UTA3***

Após uma queixa de que a zona da secretaria não estava suficientemente aquecida, foi feita uma verificação das condições de funcionamento da UTA3 (cobertura) e da caldeira, tendo-se concluído que estavam a funcionar adequadamente. Nesse momento, esta unidade já tinha sido intervencionada de modo a aumentar o caudal de água, através da utilização em simultâneo das duas serpentinas em cada estação, de modo a aumentar a eficiência do processo.

Concluiu-se que os erros de projeto do sistema de gestão do edifício causavam este problema de não serem atingidas as temperaturas necessárias.

#### **4.3.3.2 Ventiladores**

Procedeu-se à desinstalação do ventilador de cobertura (VH9), retirando-o do telhado para que fosse possível proceder à sua limpeza e reparação. Foi removida a estrutura de suporte para facilitar o acesso ao motor e remendado o invólucro do ventilador que se encontrava com fissuras.



Figura 95: Remoção da estrutura de suporte do ventilador

#### **4.3.4 Sistema de distribuição**

##### ***4.3.4.1.1 Inversão de ciclo***

No período prévio às intervenções no sistema de distribuição, com as mudanças de estação de verão/inverno e inverno/verão era necessário realizar a inversão manual em todas as válvulas modulantes do sistema de distribuição de água, existentes na sala do AVAC, de acordo com o projeto. Era também necessário proceder-se à mudança das caixas de comando das válvulas de três vias nas tubagens de frio ou calor das unidades de tratamento de ar.

Após a reestruturação, é possível realizar a inversão de ciclo de uma forma mais simples e expedita.



Figura 96: Inversão de ciclo anterior à reestruturação



Figura 97: Processo de inversão de ciclo demorado, de acordo com o projeto



Figura 98: Inversão de ciclo nas UTAs

#### ***4.3.4.1.2 Reestruturação do sistema de distribuição***

Com vista a facilitar o processo de funcionamento e manutenção do sistema de distribuição, as válvulas modulantes que serviam de *shunt* hidráulico foram retiradas e as válvulas modulantes de três vias para meia estação (V15 e V16) foram intervencionadas.



Figura 99: Remoção do troço respetivo a uma válvula removida



Figura 100: Reestruturação de todo o sistema de válvulas

Nas válvulas de cunha relativas aos coletores, foram feitas novas juntas em cartão hidráulico, limpos e lubrificados os componentes.



Figura 101: Recorte de juntas em cartão hidráulico



Figura 102: Colocação do veio da torneira da válvula de cunha do coletor de calor

Na colocação das tubagens e flanges, foi aplicada estopa de linho nas roscas, de modo a vedar corretamente e a facilitar o aperto.



Figura 103: Aplicação de estopa de linho numa rosca de um troço de tubagem

As intervenções foram realizadas de modo a que haja um comando para o inverno que abra automaticamente as válvulas de quente e feche as de frio e vice-versa para o verão.

Os períodos de meia estação serão climatizados aproveitando o potencial do próprio edifício, de modo a que através das bombas ventiloconvectoras, se realize uma mistura de águas a diferentes temperaturas. De manhã utiliza-se a água da zona mais quente (Este) e mistura-se com a água mais fria (Oeste) e no período da tarde o contrário. Esta modulação é feita utilizando uma BVC de cada vez, visto que cada uma permite a circulação de água em cada metade do edifício.



Relativamente ao erro de projeto na localização das sondas de temperatura, foi decidido mantê-las no local, para reutilização futura com uma diferente função.

Colocou-se só um circuito de água que funciona para o circuito de frio e/ou para o circuito de calor, conforme a época do ano, utilizando-se apenas um vaso expansor (80 L) na sala do AVAC e colocando o vaso expansor de maior dimensão (280 L) no piso 0 (dentro da *courette* ou na junto da entrada de água). Assim, é possível aumentar a pressão da água, permitindo um funcionamento mais seguro e eficiente dos sistemas AVAC.



Figura 104: Vaso de expansão de 80L

Com as tubagens de entrada e saída de água nos permutadores dos *Chillers* montadas e todos os orifícios tapados, após a montagem da nova estrutura de distribuição na sala do AVAC, foram ligadas as BFs para verificação do correto funcionamento de todo o sistema, nomeadamente a confirmação da inexistência de fugas e a realização de apertos adicionais nos locais onde vertesse água.

Foi instalado um contador volumétrico e uma união flexível em *inox*, para permitir contabilizar o caudal de água que é consumido pelo sistema AVAC.



Figura 105: Montagem do contador volumétrico



Figura 106: Colocação de uma união flexível em pvc

#### ***4.3.4.1.1 Reconstituição do sistema de purgas***

O sistema de purgas é essencial para o funcionamento correto e seguro das instalações e equipamentos de AVAC, de modo a prevenir a permanência de ar nas canalizações, tubagens e nos próprios equipamentos, que tem como consequência uma redução da eficiência dos processos energéticos, assim como possíveis problemas de segurança.

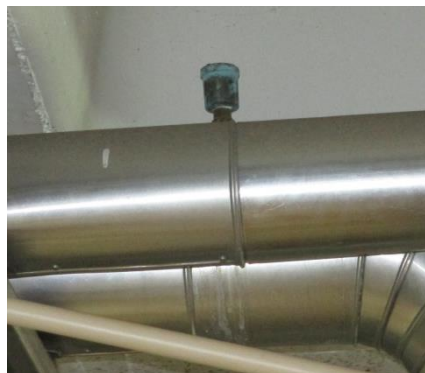


Figura 107: Purgador na tubagem da sala AVAC

Foram colocados novos pontos de purga em vários locais do sistema de distribuição, como nas tubagens de circulação da água proveniente das BVCs para distribuição pelo edifício e nas tubagens de entrada de água nos permutadores dos *Chillers*.

Foram também substituídos alguns dos purgadores já existentes, principalmente nos coletores e nas tubagens de saída de água nos permutadores dos *Chillers*.

Com vista a facilitar os futuros processos de manutenção, foram instalados, nos permutadores e noutras tubagens, sistemas que contêm um purgador automático e uma torneira manual que permite não só a remoção do ar, como também a limpeza das tubagens do sistema de distribuição. Neste processo foram adquiridas roscas e tubagem em aço galvanizado e foi usada estopa de linho para permitir uma forma cónica na rosca macho e de modo a servir de isolamento, facilitando o aperto dos instrumentos e garantindo que estes não sejam pontos de fuga de água.

As válvulas de descarga ou purga, localizadas essencialmente nos coletores, têm como função a possibilidade de esvaziamento de troços de tubagem, sempre que necessário por motivos de limpeza, desinfeção ou reparação, e devem ser instaladas nos pontos baixos das condutas (Monteiro, 2009).



Figura 108: Instalação do sistema torneira e purga nos permutadores



Figura 109: Instalação do sistema torneira e purga nas tubagens de água

#### **4.3.4.2 Bombas hidráulicas**

##### ***4.3.4.2.1 Reparação das BFs***

Nas eletrobombas de frio foram substituídos os empanques e rolamentos dos veios dos rotores e procedeu-se à limpeza e lubrificação do grupo turbina/impulsor e da chumaceira.



Figura 110: Colocação de um rolamento no veio do rotor de um dos grupos



Uma das BFs foi reparada por um bobinador, visto que tinha problemas nos enrolamentos, tendo sido também substituído o impulsor (turbina) que se encontrava partido.



Figura 111: Desmontagem dos componentes para limpeza e reparação

Foi acrescida a potência elétrica destas hidrobombas, através do aumento do caudal. Este procedimento passou pelo deslocamento da turbina, de modo a permitir a passagem de uma maior quantidade de água.

Na sua instalação foram torneados os veios de forma a encaixarem nos batentes, onde foi colocada uma rosca em latão que permite o deslocamento da turbina.

Por fim, foram instaladas todas as bombas e feitas as ligações nas caixas elétricas do motor, tendo-se verificado com a passagem e pressurização de água, os locais onde eram necessários apertos adicionais.



Figura 112: Ligações elétricas nos terminais dos enrolamentos



Figura 113: Apertos mecânicos finais

#### ***4.3.4.2.2 Reparação das BVCs***

Nos grupos hidráulicos ventiloconvectores, foram substituídos os empanques e rolamentos dos motores e limpas as turbinas (que estavam entupidas), permitindo aumentar a eficiência destas.

As intervenções ao nível das válvulas de controlo de fluxo do sistema de distribuição, permitiram trocar o sentido e caudal em determinados troços, de modo a ser possível com o aumento do caudal nas BFS, ser reduzida a potência elétrica das BVCs.



Figura 114: Limpeza e lubrificação do grupo turbina/impulsor

Foi feita a limpeza do grupo turbina/impulsor e a lubrificação dos componentes mecânicos, para facilitar a montagem do grupo e permitir um funcionamento mais seguro e eficiente das partes rotativas.

#### ***4.3.4.2.1 Reparação da BQ***

Na eletrobomba de água quente foi realizada a limpeza do grupo turbina/impulsor e da chumaceira.

A fuga de água existente motivou a paragem do sistema de aquecimento, após a qual se procedeu à separação do grupo hidráulico do motor, com o auxílio de uma ferramenta extratora de rolamentos, descobrindo-se uma pedra calcária no grupo turbina/impulsor e danos no empanque.

Na sequência das desmontagens efetuadas, procedeu-se à remoção das incrustações no corpo da eletrobomba, grupo turbina/impulsor e veio, seguida da aplicação de massa consistente nas zonas sujeitas a fricção.

Foram substituídos o rolamento, empanque e borracha vedante *O´ring*, seguindo-se a sua montagem.

Por fim, por questões de segurança, foi afinado o fluxóstato do circuito de entrada de água na eletrobomba.

O filtro de linha foi desmontado e reposicionado, após ter sido rodado 90° em torno do seu eixo principal, de modo a permitir o acesso de forma simples e rápida quando for necessária a sua manutenção.



Figura 115: Remoção do grupo turbina/impulsor com ferramenta extratora de rolamentos



Figura 116: Pedra calcária descoberta na turbina

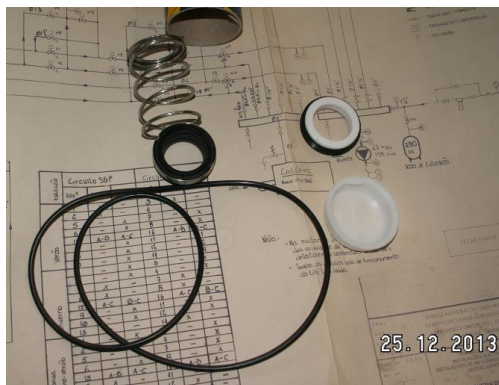


Figura 117: Novo empanque e O´ring para colocação no grupo turbina/impulsor

Esta hidrobomba, após a reorganização das válvulas seccionadoras do sistema de distribuição, funciona com maior eficácia.

#### 4.3.4.3 Unidades ventiloconvectoras

No total foram reparados doze ventiloconvectores por todo o edifício, em especial no terceiro piso, por ser o que mais necessitava de intervenção.

Efetuuou-se a desmontagem dos equipamentos do teto falso, de modo a proceder-se à sua limpeza e reparação.



Figura 118: Ventiloconvector a ser reparado

Em cada um, foram realizadas a limpeza e desinfeção do sistema aeráulico, incluindo a remoção da turbina e da evoluta (parte de fora), alteração do sistema de adução de água, redução de potência através da redução do caudal e limpeza dos filtros.

Foi também realizada a inibição do sistema de controlo de temperatura local, de modo a possibilitar a regulação de frio/calor de modo central. Nos gabinetes pode-se regular o caudal de ar entre três posições possíveis.



Figura 119: Reparação do motor do VC

Depois de serem reparados, os ventiloconvectores foram recolocados na sua posição original, tendo sido feitas as ligações à tubagem de circulação de água do edifício, assim como as ligações elétricas necessárias.



Figura 120: Ligação do tubo de saída de água ao VC

Devido à formação de condensados, o tubo de água foi coberto com fita isolante, para que não vertesse água para o chão.

Os fios elétricos de ligação à rede, que já não eram necessários mas continuavam em carga, foram presos e isolados, de forma a evitar que ocorressem curto circuitos ou que houvesse perigo de eletrocussão devido à passagem de corrente.

Voltou-se a colocar as chapas metálicas do teto falso.



Figura 121: Final da intervenção, com o teto falso já colocado

Os aparelhos ficaram a funcionar corretamente após as intervenções realizadas.

#### **4.3.5 Sala técnica do sistema AVAC**

Para facilitar o sistema de drenagem da sala técnica, foi instalado um ralo sifónico, com diâmetro de saída de 75 mm, permitindo um maior escoamento da água. Este trabalho melhorou o desempenho deste sistema, aumentando as condições de segurança dos equipamentos existentes na sala. Verificou-se sobretudo a redução do risco de inundação da caleira de chegada do ramal de alimentação de energia elétrica, para o sistema AVAC 1.





Figura 122: Colocação do ralo sífónico de maior dimensão

Foram feitas alterações estruturais no QAVAC1, entre as quais, a instalação de dois relógios que permitem fazer uma medição das variações temporais, de modo a facilitar o processo metodológico do “predictor-corrector”. Este sistema de relógios, permite também o arranque/paragem da hidrobomba de calor e caldeira ou hidrobombas de frio e *Chillers*, com intervalos de alguns minutos, para que a potência instantânea não seja tão elevada, reduzindo as potências no período de ponta. Possibilitou igualmente que as bombas de circulação da água (BVCs) funcionem durante alguns minutos após se desligarem os aparelhos produtores de frio ou calor, de modo a que a temperatura e pressão da água presente nas canalizações não as danifique.

## **5. Estado final**

**Confidencial**





## **6. Impactos decorrentes das intervenções**

**Confidencial**



---

## 7. Conclusões

Os trabalhos referidos neste documento, assim como outros realizados na mesma instalação, foram sujeitos a uma vistoria pela Direção Regional da Economia de Lisboa e Vale do Tejo, tendo sido autorizada e realizada a selagem de um dos transformadores, bem como dada a autorização provisória de exploração da instalação, com vista à continuação dos trabalhos ainda por desenvolver (DRE-LVT, 2014).

### 7.1 Replicabilidade

O método “predictor-corrector” foi aplicado com sucesso anteriormente em três edifícios com características semelhantes, pelo que apresenta uma elevada possibilidade de reprodutibilidade noutros grandes edifícios de serviços, quer ao nível dos sistemas AVAC e rede hidráulica, quer nos sistemas de segurança e intrusão, iluminação e circuitos elétricos.

Assim, o método de previsão e as intervenções corretivas realizadas, são facilmente replicáveis, apesar de deverem ser adaptados às especificidades de cada edifício.

### 7.2 Dificuldades encontradas e sugestões

No decurso das intervenções, nem sempre foi possível a realização dos trabalhos necessários durante o período laboral, por se apresentarem como um entrave ao normal funcionamento das atividades laborais.

Ocorreram também dificuldades em realizar as intervenções no espaço temporal pretendido, devido aos entraves de financiamento para certos trabalhos, dada a atual situação económica do estado.

Devido ao facto de alguns dos trabalhos ainda não terem sido terminados por questões de tempo ou outras, está em curso a implementação definitiva das soluções adotadas em coordenação com a Câmara Municipal da Amadora, a Direção Geral de Energia e Geologia e o SiMAS de Oeiras e Amadora. A continuação dos trabalhos permitirá o incremento dos benefícios associados à melhoria das condições do edifício.

Relativamente ao sistema de gestão AVAC, é aconselhável uma intervenção global de modo a permitir o funcionamento futuro do sistema de forma automatizada e simples. Pretende-se que seja necessário apenas a escolha da estação do ano pretendida.

#### Chillers

Deve-se proceder ao enterramento de elétrodos terra, com o objetivo de resolver os problemas de passagens à terra, contribuindo para um melhor funcionamento destas unidades e para aumentar a segurança dos operadores do sistema AVAC.

Deve ser considerada a possibilidade de colocar dois eletroventiladores extras em cada *Chiller*, de forma a igualar o número de placas condensadoras. Esta ação permitirá reduzir a temperatura e pressão de condensação e, por sua vez, reduzir os consumos associados à necessidade de arrefecimento do equipamento. Como consequência, verificar-se-á o aumento da eficiência do processo de arrefecimento, garantindo o prolongamento do tempo de vida útil dos equipamentos.

Os eletroventiladores axiais destas unidades são ligeiramente indutivos, sendo importante compensar a energia reativa. Deste modo, aconselha-se a instalação em paralelo de um condensador no circuito de ventilação de cada *Chiller*, que permitiria reduzir a corrente nominal e, conseqüentemente, diminuir os consumos elétricos. Outra possível solução para este problema seria a instalação de VEVs (variadores eletrónicos de velocidade).

Se possível, deve ser corrigido o problema existente na placa de circuitos (“cérebro”) do *Chiller*2, de modo a ser possível colocar em funcionamento esta unidade. Deverá também ser realizado o *retrofit* do primeiro circuito deste *Chiller*. Se for considerado viável, deverá ser realizada a reparação do compressor 2.

### Caldeira

Aconselha-se a colocação de uma nova chaminé de exaustão. Devem também ser realizadas medições elétricas na bomba de calor para comprovar o seu correto funcionamento.

### Ventilação

Deve ser realizada a substituição das polias e correias das UTAs 2 e 6 e a colocação de correias nas polias do ventilador de extração 7 (VH7).

Deverão ser realizadas medições e, se necessário, intervenções nos motores dos ventiladores de extração.

A nível global, relativamente ao sistema de ventilação, devem ser medidos a continuidade entre condutores e entre estes e a carcaça. Deve ser considerada também uma possível intervenção nas válvulas de seccionamento (corte) e centralinas.

### Sistema de distribuição

No sistema de distribuição, devem ser realizadas intervenções com o intuito de se instalar um sensor com um termóstato que regule a temperatura desejada em cada piso. Estes sensores devem estar disponíveis apenas ao operador do sistema AVAC. Aconselha-se a pintura dos coletores de distribuição de água, existentes na sala do AVAC, com várias cores para identificação futura da sua função e setas de sentido de fluxo nas tubagens.

Os planos de manutenção elaborados, devem ser utilizados por todos os intervenientes do sistema AVAC, de forma a criar métodos eficazes de acompanhamento do mesmo e a prevenir futuras situações que advêm da falta de manutenção preventiva.

Por fim, sugere-se a certificação energética do edifício em questão.

## **7.3 Discussão**

Este caso de estudo permitiu verificar que a manutenção é essencial, não só por possibilitar o prolongamento do tempo de vida dos equipamentos, como também por permitir a obtenção de níveis de conforto e qualidade do ar interior. É importante que o sistema AVAC funcione em boas condições e que não constitua um perigo adicional para os funcionários do edifício.

A manutenção preventiva de forma periódica implica alguns custos que são, contudo, muito inferiores ao custo da manutenção corretiva, normalmente realizada por empresas externas. Só em último recurso deve ser considerada a troca de equipamentos como *Chillers*, UTAs ou caldeiras, devido ao seu elevado custo e ao impacto ambiental associado.

Visto a manutenção preventiva ser a melhor solução, foi criado um plano de manutenção, de modo a possibilitar a preservação das condições de funcionamento do sistema AVAC da instalação em estudo.

De modo geral, foram conseguidos os objetivos preconizados de reconstituição do sistema AVAC e redução dos consumos associados.

O método “predictor-corrector”, utilizado nas diferentes vertentes, permitiu a eficaz identificação e criação de planos corretivos para resolver os desvios nos perfis de consumo, que constituíam perdas de água ou desperdícios energéticos. Tornou também possível a implementação de um sistema de monitorização e *reporte* dos consumos.

Através de medidas corretivas, conseguiu-se recuperar quase a totalidade do sistema AVAC do edifício, recorrendo sempre que possível a soluções de baixo custo. Foram reabilitados e otimizados os equipamentos produtores de frio e de calor, a rede de distribuição e o sistema de ventilação.

Relativamente à energia elétrica, foram atingidas poupanças mensais máximas de 18,10% no que concerne ao consumo e de 20,14% no que respeita aos encargos. A poupança mensal máxima de emissões de CO<sub>2</sub> atingida foi de 57,22%.

No respeitante ao gás propano, foram alcançadas poupanças máximas, relativas aos carregamentos efetuados, de 34,06 % nos consumos e de 37,26% com os encargos. A poupança máxima de emissões de CO<sub>2</sub> alcançada foi de 10,30%.

Foi também resolvida uma fuga de água existente e intervencionado o sistema hidráulico, conseguindo-se assim otimizar o funcionamento do sistema AVAC. Deste modo, alcançou-se uma poupança máxima no consumo de água de 84,58%.

Deparamo-nos com algumas limitações, tais como a impossibilidade de recuperação total das unidades produtoras de frio, por problemas técnicos, estando atualmente este sistema a funcionar a 25% da potência instalada. Apesar de apenas um ciclo de compressão estar em funcionamento, foi provado na prática que se consegue realizar o arrefecimento da globalidade do edifício, incluindo gabinetes, corredores e auditório.

Um outro constrangimento consistiu na impossibilidade de se finalizar a instalação do sistema de exaustão de gases de combustão, provenientes da queima de gás propano pela caldeira.

Para além disso, atualmente, o novo sistema de gestão AVAC, não está inteiramente em funcionamento. Contudo, conseguiu-se otimizar as condições de controlo e operação nos períodos de funcionamento dos equipamentos do sistema.

Os resultados positivos alcançados e o aumento das condições de segurança e de qualidade do ar interior do edifício em estudo, levaram à consciencialização por parte dos funcionários, para a importância da eficiência energética e do uso racional de energia e água.

Mostrou-se que, com medidas eficazes e soluções de baixo custo, é possível melhorar as condições do sistema AVAC e aumentar a eficiência energética dos processos associados, ao mesmo tempo que é privilegiada a segurança dos utilizadores.



## 8. Referências

*A integração da QAI e da EE nos edifícios. George, Francisco. 2014.* Lisboa : INGENIUM Mundo Rural, 2014. ISSN 0870-5968 .

**Abreu, António Manuel Sequeira. 2005.** *Aplicação do Modelo Preditor-Corretor na Racionalização de Consumos.* Lisboa : s.n., 2005. 5408/2014 Ministério da Cultura.

—. *Apresentação de um algoritmo de optimização de recursos energéticos naturais.* s.l. : PROELIUM - Revista da Academia Militar.

—. **2005.** *Apresentação de um algoritmo de optimização de recursos energéticos naturais.* s.l. : PROELIUM - Revista da Academia Militar, 2005.

—. **2003.** *Utilização Racional no consumo de energia elétrica, água e gás.* Lisboa : s.n., 2003. 5408/2014 Ministério da Cultura.

**ADENE.** ADENE - Agência para a Energia. *Eficiência Energética - ESE.* [Online] [Citação: 23 de 09 de 2014.] <http://www.adene.pt/empresas-de-servicos-energeticos>.

—. **2008.** *SCE.* 2008.

**Administração Central do Sistema de Saúde. 2008.** *Especificações Técnicas para Instalações de AVAC.* Lisboa : s.n., 2008.

**Alisson S. Takahashi, Henrique S. Higa, Rafael Simon, Sérgio S. Prestes. 2006.** *SISTEMAS DE PROTEÇÃO -Alternadores.* Porto : (FEUP), 2006. Power Point - FEUP.

**APA. 2006.** Agência Portuguesa do Ambiente. *Gases Fluorados - Legislação.* [Online] 2006. [Citação: 10 de 06 de 2014.]

**Argelo.** info- climatizacao, QAI, qualidade da agua. [Online] [Citação: 13 de 8 de 2014.] <http://www.argelo.pt/info-geral.html>.

**Ascenso & Cardoso, Filipa Cardoso e Rita Ascenso. 2012.** *Eco.Ap. Climatização - Edifícios e Energia.* 80, 2012, Revista Edifícios e Energia.

**Babcock & Wilcox Co. 2007.** *Steam, Its Generation and Use.* 2007.

**Bitzer Compressores Ltda. 2008.** *Boletim da engenharia - diagramda P-h.* São Paulo : s.n., 2008.

**Borges, José Pimenta. 2014.** Impactos da aprovação pelo PE de uma nova versão do regulamento dos gases fluorados que condiciona a utilização de fluidos refrigerantes. *INGENIUM - Mundo Rural.* Março/Abril, 2014, Vol. II. Revista.

**Carlos Santos e Luís Matias. 2012.** *Critérios para um conforto térmico sustentável nos edifícios em Portugal.* LNEC. Lisboa : s.n., 2012.

**Carpinteiro, José. 2011.** *Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado*. s.l. : Verlag Dashofer, 2011. Livro. ISBN 978-989-642-085-7.

—. 2009. *Reabilitação e Manutenção de Edifícios. Módulo: 06 - Reabilitação de Edifícios Passo a Passo*. s.l. : DASHÖFER HOLDING LTD. CHIPRE, 2009. Edição online.

**Castro, José de. 2011.** *Refrigeração comercial e climatização industrial*. São Paulo : Leopardo Editora, 2011. Livro. ISBN 978-85-62953-32-3.

**Chaves, Eng. Flávio. 2009.** *INSTALAÇÕES DE CLIMATIZAÇÃO E REFRIGERAÇÃO*. 2009.

**Couras, Ivan. 2011.** *Gestão Técnica de Edifícios - Aplicação em Edifício Escolar*. Porto : ISEP, 2011.

**Couras, Ivan Valente. 2011.** *Gestão Técnica de Edifícios - Aplicação em Edifício Escolar*. Engenharia Eletrotécnica, ISEP. Porto : s.n., 2011. Tese.

**Danfoss. 2009.** 2009. Greenhouse Gases, Climate change and R22. Web seminário.

**Danfoss. 2009.** *Worldwide R22 countdown*. 2009.

**Detlef Westphalen, Scott Koszalinski. 2001.** *Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HVAC Systems - Volume I: Chillers, Refrigerant Compressors, and Heating Systems*. Cambridge, MA - USA : s.n., 2001.

**DGEG. 2012.** DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. *Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - PNAEE*. [Online] 2012. [Citação: 23 de 09 de 2014.] <http://www.dgeg.pt/>.

**Diana Coimbra e Raquel Ramiro. 2014.** *Implementação prática de medidas inovadoras nas instalações de eletricidade, gás, água, sistemas AVAC e de segurança, para promoção da eficiência energética e redução de consumos*. Campus Alfragide, LNEG. Lisboa : s.n., 2014. Relatório de Estágio. Relatório entregue na Direção Regional da Economia de Lisboa e Vale do Tejo. Registo LNEG: 3109/2014.

**DRE-LVT. 2014.** Selagem de transformadores ; Autorização provisória de exploração. Lisboa - Alfragide : s.n., 2014. SEEN/DEE 271/11/15/338 ; Arq: 13686-1/1.

**Elizabeth Cartaxo, et al. 2007.** *Aspectos de contaminação biológica em filtros de condicionadores de ar instalados em domicílios da cidade de Manaus - AM*. Rio de Janeiro : s.n., 2007. ISSN 1413-4152.

**Energia em Portugal. 2014.** Energia em Portugal. *A Energia em Portugal*. [Online] 2014. [Citação: 30 de 09 de 2014.] <http://www.energiaportugal.pt/pt/energia-em-portugal>.

**EUR-Lex. 2006.** *Directiva 2006/40/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de Maio de 2006*. 2006.

**EurLex. 2014.** *Regulamento 517/2014 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de abril de 2014*. 2014.



- European Comission. 2008.** *International Technical Meeting on HCFC phase-out*. s.l. : McQuay International, 2008.
- EW Lemmon, ML Huber, MO McLinden. 2010.** *NIST Standart ReferenceDatabase 23: Refecence fluid thermodynamic and transport properties-REFPROP.9.0*. 2010.
- Ferreira, Ana. 2012.** *Estudo de Soluções de Otimização para Edifícios de Balanço Energético Nulo*. Lisboa : FCT UNL, 2012. Tese.
- Fragoso, Rui. 2013.** O novo enquadramento legal do SCE. *ADENE*. [Online] 16 de 12 de 2013. [Citação: 05 de 10 de 2014.] [http://www.adene.pt/sites/default/files/131216sce\\_rfragoso.pdf](http://www.adene.pt/sites/default/files/131216sce_rfragoso.pdf).
- Guimarães, Ana Luísa Godinho. 2007-2008.** *Elaboração de uma ferramenta de ajuda à tomada de decisão no âmbito do Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*. PORTO : s.n., 2007-2008. Relatório de estágio.
- H. H. Goh, M. S. Looi, and B.C. Kok. 2009.** *Comparison between Direct-On-Line, Star-Delta and Auto-transformer Induction Motor Starting Method in terms of Power Quality*. Hong Kong : IMECS, 2009. ISBN: 978-988-17012-7-5.
- Herbert W., Stanford III. 2012.** *HVAC Water Chillers and Cooling Towers*. s.l. : CRC Press, 2012.
- IFSC. 2009.** Hidráulica, eletrohidráulica e eletropneumática. [Online] 2009. [Citação: 14 de 09 de 2014.] [http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle\\_Eletrohidraulico\\_e\\_Eletropneumatico.pdf](http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle_Eletrohidraulico_e_Eletropneumatico.pdf).
- instalador. 2013.** Qualidade do Ar Interior. *instalador - edifícios, energia, ambiente*. 205, 2013, Qualidade do Ar Interior. Revista.
- IPCC report, IPCC.** *Observed and projected atmospheric CO2 concentrations since 1990*.
- IPMA. 2013.** *Boletim Climatológico Mensal (Setembro 2013)*. 2013.
- , **2012.** *Boletim climatológico sazonal - inverno 2011/12*. 2012.
- , **2013.** *Boletim Climatológico Sazonal (Inverno 2012-2013)*. 2013. ISSN 2183-1084.
- IPQ. 2012.** *NP EN ISO 50001 2012*. 2012.
- J.R., Nicoletti. 2008.** *SHVOONG - Grau de proteção (IP) de motores elétricos*. 2008.
- LNEG. 2014.** LNEG. *O LNEG*. [Online] 2014. [Citação: 23 de 09 de 2014.] <http://www.lneg.pt/lneg/>.
- Marques, Filipe Miguel Mexia. 2011.** *Estudo Energético de um Edifício à Luz do RCCTE e do RSECE*. s.l. : FCT - UNL, 2011. Tese.
- Martins, João Guilherme Sá. 2008.** *Auditorias Energéticas – Certificação Energética de Edifícios*. 2008. Tese.

—. **2008.** *Auditorias Energéticas – Certificação Energética de Edifícios*. Engenharia Mecânica, ISEL/IPL. 2008. Tese de Mestrado.

**Ministério da economia e do emprego. 2013.** *Decreto-Lei n.º 118/2013*. s.l. : Diário da República, 2013.

**Monteiro, António. 2009.** ÓRGÃOS DE MANOBRA E CONTROLO. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 02 de 2009. PDF da cadeira de Saneamento - IST.

**O blog dos Eletricistas. 2013.** Motores Trifásicos. [Online] 2013. [Citação: 25 de 10 de 2014.]

**P. Torcellini, S. Pless, M. Deru. 2006.** *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. California, EUA : NREL, 2006. Artigo.

*Palestra - SGE no LNEG.* **Ana Gonçalves, António Abreu, David Salema, Leonor Sota. 2014.** Alfragide, Lisboa : LNEG, 2014.

**PAM Saint-Gobain.** Válvulas de cunha. [Online]

**Pitéu, João. 2011.** *Manutenção das Instalações Técnicas de um Grande Edifício*. ISEL Lisboa : s.n., 2011. Tese de mestrado.

**Qun Chen, Yun-Chao Xu. 2011.** *An entransy dissipation-based optimization principle for building central chilled water systems*. China : ELSEVIER, 2011. 10.1016/j.energy.2011.10.047.

**Ramos, Ernesta. 2011.** *A QAI e os sistemas AVAC - Requisitos de Filtragem 11.as Jornadas de Climatização*. s.l. : Ordem dos Engenheiros, 2011.

**Ramos, Ernesto Peixeiro. 2012.** Não precisamos de edifíciosãos, queremos ocupantes saudáveis. *Climatização - Energia e Edifícios*. 80, 2012, Revista Energia e Edifícios.

—. **2012.** Não precisamos de edifíciosãos, queremos ocupantes saudáveis. *Climatização - Energia e Edifícios*. 80, 2012, Energia e Edifícios.

**REA. 2013.** *Relatório do Estado do Ambiente 2013*. s.l. : Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., 2013.

**Resende, Gil Marques e Maria José. 2010.** *Circuitos Eléctricos*. Lisboa : IST, 2010.

**Ribeiro, Alan Emanuel Duailibe. Abril 2012.** *Uma metodologia alternativa de avaliação preliminar de consumo de energia elétrica direcionada a instituições de ensino superior*. Rio de Janeiro, Brasil : s.n., Abril 2012. Tese.

**Rodrigues, Coelho, Ferreira, Pizarro. 2013.** *Prevalência de Legionella nos sistemas de água*. Lisboa : Departamento de Saúde Ambiental, INSA, 2013. ISSN: 0874-2929 .

**Sampaio, António. 2013.** QAI em espaços tratados com unidades de ventilação centrais. *instalador*. 205, 2013.

**TLV - A steam specialist company. 2014.** Types of Manual Valves. *TLV*. [Online] 2014.

**Toshiba air conditioning. 2011.** *ADVANCING THE ECO EVOLUTION*. 2011.

**Underwood, C. P. 2002.** *HVAC Control Systems*. 2002.

**US AGENCY, U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION. 2014.** *Ozone-depleting substances*. 2014.

**William Bahnfleth et al, Rita Antunes, Francisco George. 2014.** *Conferência "A integração da qualidade do ar interior e da eficiência energética nos edifícios"*. Lisboa : Ingenium Edições, Lda, 2014. Revista. II Série/Número 140. ISSN 0870-5968.

**WWF International, WWF. 2014.** *Living Planet Report 2014*. 2014. ISBN 978-2-940443-87-1.

**Zhenjun Ma, Shengwei Wang\*. 2008.** *An optimal control strategy for complex building central chilled water central chilled water*. Hong Kong : ELSEVIER, 2008. Artigo. *Building and Environment* 44 (2009) 1188–1198.



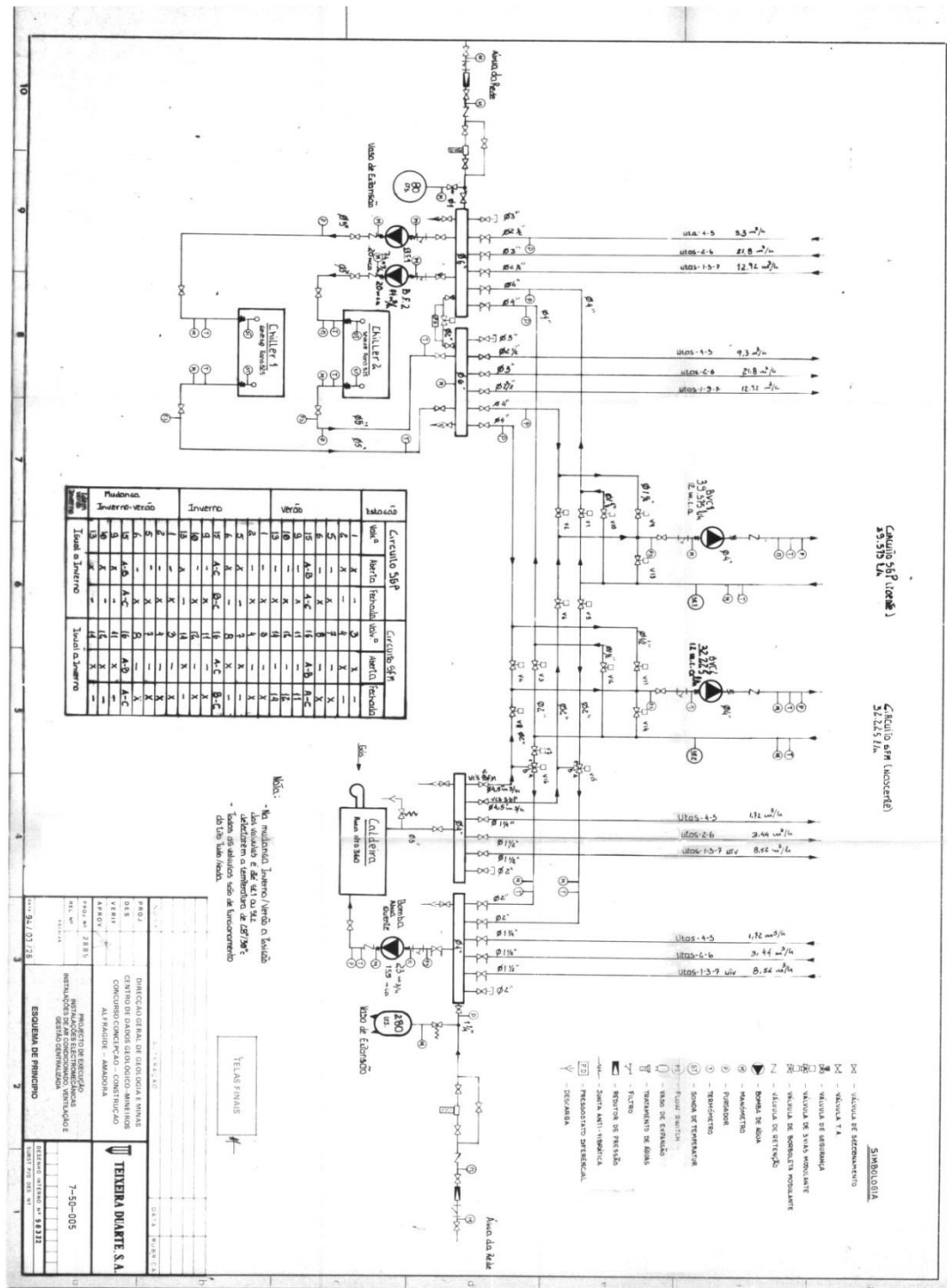
## **Anexos**

### **Anexo I**

#### Características dos transformadores – PT Cliente

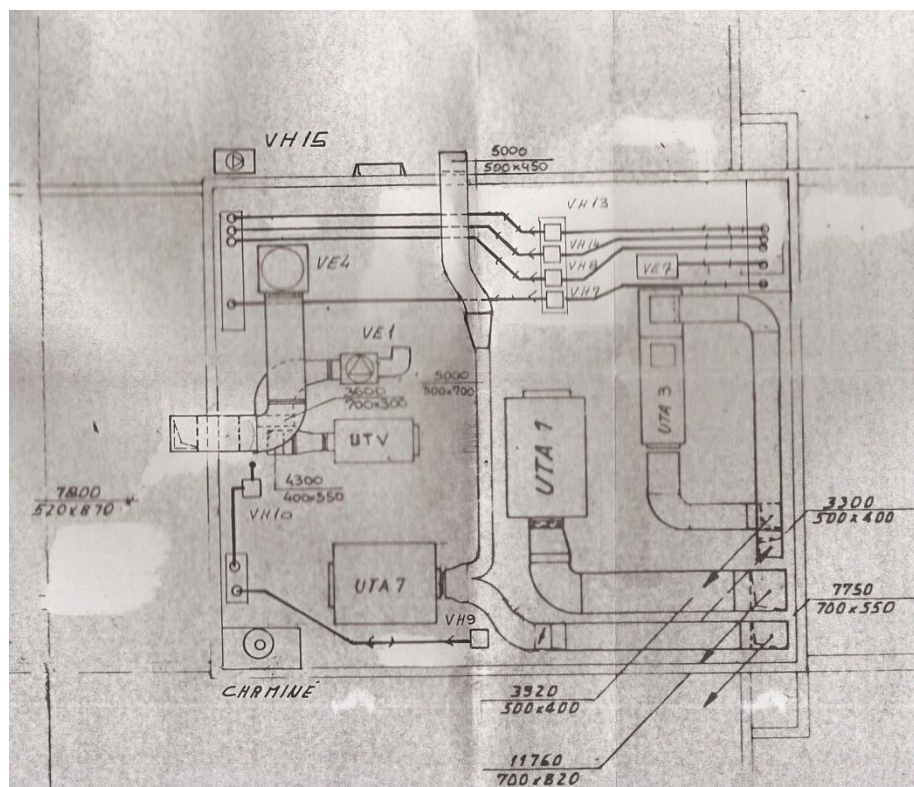
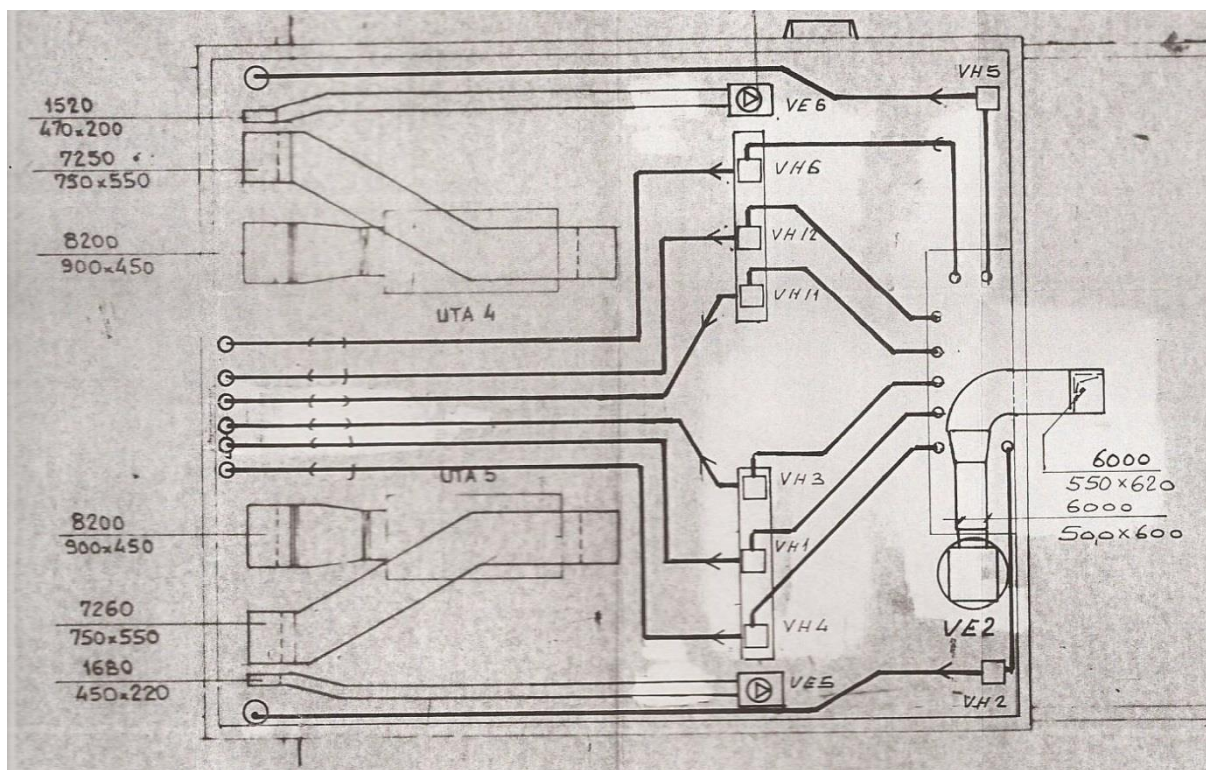
<b>Tipo</b>	<b>T84 293</b>
<b>Número</b>	<b>14468.2</b>
<b>Ano</b>	<b>1993</b>
Potência Nominal	630 kVA
Normas	CE 76-1976
Número fases	3
Grupo de ligação	Dyn 5
Frequência	50 Hz
Tensão de curto-circuito	4%
Alta tensão	10 000 V
Baixa tensão	400 V
Corrente nominal (alta tensão)	36,37 A
Corrente nominal (baixa tensão)	909,3 A

### Tela do sistema de distribuição AVAC



### Anexo III

#### Telas de projeto das unidades de ventilação existentes nas coberturas.



**Anexo IV**Características elétricas nominais das unidades de tratamento de ar

	UTAN 1	UTA 2	UTA 3	UTA 4	UTA 5	UTA 6	UTAN 7	UTV
<b>Modelo</b>	N4	N5	N1	N3	N3	N6	N5	N1
<b>Serpentinas de Arrefecimento</b>								
Calor (arrefecimento total) [kW]	29	51	14	27	27	76	32	-
Calor (arrefecimento sensível) [kW]	27,3	47	13,1	26	26	53	30	-
Caudal de água [L/h]	5000	8700	2410	4650	4650	13100	5510	-
<b>Ventilador e motor</b>								
Caudal de ar total (m <sup>3</sup> /h)	11760	13790	3920	8200	8200	18000	12750	4300
Caudal de ar novo (m <sup>3</sup> /h)	11760	2770	920	950	950	3600	12750	4300
Pressão estática dispon. [Pa]	250	250	200	200	200	200	250	520
Potência Motor [kW]	3,5	3	1	3	3	3	5	2
<b>Bateria de aquecimento</b>								
Calor total [kW]	76	42	13	20	20	38	82	27
Caudal água [L/h]	3270	1800	560	860	860	1640	3530	1160



Sistemas de controlo de temperatura marca LANDIS&GYR – UTAs

	<b>Pressóstato (40-300 Pa)</b>	<b>Sonda de temperatura e humidade</b>	<b>Sonda de temperatura para conduta</b>	<b>Sonda de temperatura ambiente</b>	<b>Conjuntos modulantes com válvulas de 3 vias</b>
<b>Modelo</b>	RBM 23.202	QFM64	QAM21 (UTA3 (R) e UTV (I) )	QAA23 (secretaria e auditório)	VXG44 (com atuador SQS65 para as baterias de calor e frio)
<b>Quantidade</b>	2	1	1	1	2

	<b>UTAN 1</b>	<b>UTA 2</b>	<b>UTA 3</b>	<b>UTA 4</b>	<b>UTA 5</b>	<b>UTA 6</b>	<b>UTAN 7</b>	<b>UTV</b>
<b>Sonda de temp. e humidade <sup>4</sup></b>	I	I/R	I	I/R	I/R	I	I/R	-

<sup>4</sup> I: insuflação, I/R: insuflação/extração

## Anexo V

### Características nominais funcionais - ventiladores centrífugos de dupla entrada

Ventilador	VE1	VE5	VE6	VE7	VE8 <sup>5</sup> (UTA3)	VE9
Modelo	CA 600 (AT10-10)	CA 500 (AT9-9)	CA 500 (AT9-9)	CA 500 (AT9-9)	- (AT10-10)	CA 800 (AT15-15)
Caudal [m³/h]	3600	1680	1520	1780	3300	7650
Pressão estática [Pa]	150	150	150	150	150	90
Potência do motor [kW]	0,55	0,25	0,25	0,25	0,55	0,75
Potência absorvida [kW]	0,38	0,12	0,11	0,13	0,37	0,6
Velocidade de Rotação [rpm]	800	850	850	850	845	480

### Características nominais funcionais - ventiladores de cobertura

Ventilador	VE2	VE3	VE4
Modelo	ECT 424/4	ECT 324/4	ECT 474/4
Caudal [m³/h]	6000	1650	7800
Pressão estática [Pa]	150	200	150
Potência do motor [kW]	0,75	0,25	1,5

### Características nominais funcionais - ventiladores de parede

Ventilador	VE AP	VE I.S.	VE VIP
Modelo	E-254	E-254	E-254
Caudal de extração [m³/h]	1000	1000	1000

---

<sup>5</sup> O ventilador 8 é auxiliar da UTA3, para permitir a recirculação e rejeição do ar movimentado por aquela unidade central de condicionamento de ar.

Características nominais funcionais - Ventiladores de cobertura do edifício anexo

<b>Ventilador</b>	<b>VE <i>Hotte</i></b>	<b>VE I.S.</b>
<b>Modelo</b>	ECT 274	ECT 214
<b>Caudal [m<sup>3</sup>/h]</b>	1650	550
<b>Pressão estática [Pa]</b>	145	150
<b>P_motor [kW]</b>	0,18	0,12

## Anexo VI

### Características funcionais das eletrobombas

	<b>ÁGUA FRIA (BF)</b>	<b>ÁGUA QUENTE (BQ)</b>	<b>SECUNDÁRIAS (BVC)</b>
<b>Modelo</b>	NJM 80 - 250	NJM 50 - 200	NJ 100 - 200
<b>Caudal [m<sup>3</sup>/h]</b>	75	18	40
<b>Altura manométrica [m.c.a.]</b>	15	15	12
<b>Potência elétrica do motor [kW]</b>	7,5	2,2	5,5
<b>Velocidade rotação motor [rpm]</b>	1435	1395	1440
<b>Fator de Potência (°)</b>	0,81	0,79	0,80

## Anexo VII

### Medições de potências ativa, reativa e aparente e fator de potência para cada fase de cada contator

As medições foram efetuadas com recurso a um aparelho *Chauvin Arnoux*.

É de referir o ventilador correspondente ao contactor k11 não estava em boas condições pelo que não foram realizadas medições.

#### Chiller 2

Contactor K3	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	371	376	361
Q [VAr]	432	439	446
S [VA]	565	579	572
FP	0,65	0,56	0,63

Contactor K4	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	387	386	387
Q [VAr]	452	445	463
S [VA]	601	593	599
FP	0,65	0,66	0,64

Contactor K5	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	333	386	373
Q [VAr]	457	455	465
S [VA]	590	603	596
FP	0,64	0,65	0,63

Contactor K6	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	389	385	409
Q [VAr]	458	465	431
S [VA]	600	601	588
FP	0,66	0,66	0,68

Contactor K9	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	417	426	318
Q [VAr]	457	457	499
S [VA]	617	616	615
FP	0,69	0,69	0,52

Contactor K10	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	381	393	386
Q [VAr]	489	449	466
S [VA]	589	597	601
FP	0,64	0,65	0,63

Contactor K12	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	393	403	399
Q [VAr]	445	469	438
S [VA]	598	617	592
FP	0,67	0,66	0,68

Chiller 1

É de referir, que na altura das medições efetuadas, o ventilador correspondente ao contactor k3 não funcionava.

Contactor K4	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	393	406,7	392,9
Q [VAr]	441,4	476,7	430,1
S [VA]	599,7	621,7	582,2
FP	0,67	0,65	0,66

Contactor K5	Fase R	Fase S	Fase T
P [W]	407	394,2	395,5
Q [VAr]	440,1	470,8	435,3
S [VA]	592,6	614,2	579,9
FP	0,70	0,64	0,67

<b>Contactor K6</b>	<b>Fase R</b>	<b>Fase S</b>	<b>Fase T</b>
<b>P [W]</b>	401,7	393,4	400,2
<b>Q [VAr]</b>	466,1	485,1	453,9
<b>S [VA]</b>	606,3	628,5	601,6
<b>FP</b>	0,653	0,637	0,658

<b>Contactor K9</b>	<b>Fase R</b>	<b>Fase S</b>	<b>Fase T</b>
<b>P [W]</b>	405,9	406,2	410,5
<b>Q [VAr]</b>	452,6	435,9	445
<b>S [VA]</b>	611,3	642,5	603,5
<b>FP</b>	0,668	0,639	0,672

<b>Contactor K10</b>	<b>Fase R</b>	<b>Fase S</b>	<b>Fase T</b>
<b>P [W]</b>	548,3	425,1	760,2
<b>Q [VAr]</b>	910	578,1	572,2
<b>S [VA]</b>	1045,3	715,2	953
<b>FP</b>	0,535	0,588	0,801

<b>Contactor K11</b>	<b>Fase R</b>	<b>Fase S</b>	<b>Fase T</b>
<b>P [W]</b>	387,3	387,5	383,8
<b>Q [VAr]</b>	448,3	473,9	434,4
<b>S [VA]</b>	590	616,6	579,9
<b>FP</b>	0,66	0,63	0,67

<b>Contactor K12</b>	<b>Fase R</b>	<b>Fase S</b>	<b>Fase T</b>
<b>P [W]</b>	352	277,3	352,1
<b>Q [VAr]</b>	329,1	326,3	246,1
<b>S [VA]</b>	483,3	431,4	429,2
<b>FP</b>	0,734	0,655	0,822

## **Anexo VIII**

Imagem representativa da corrosão e degradação das resistências elétricas destinadas ao aquecimento da UTV do refeitório.

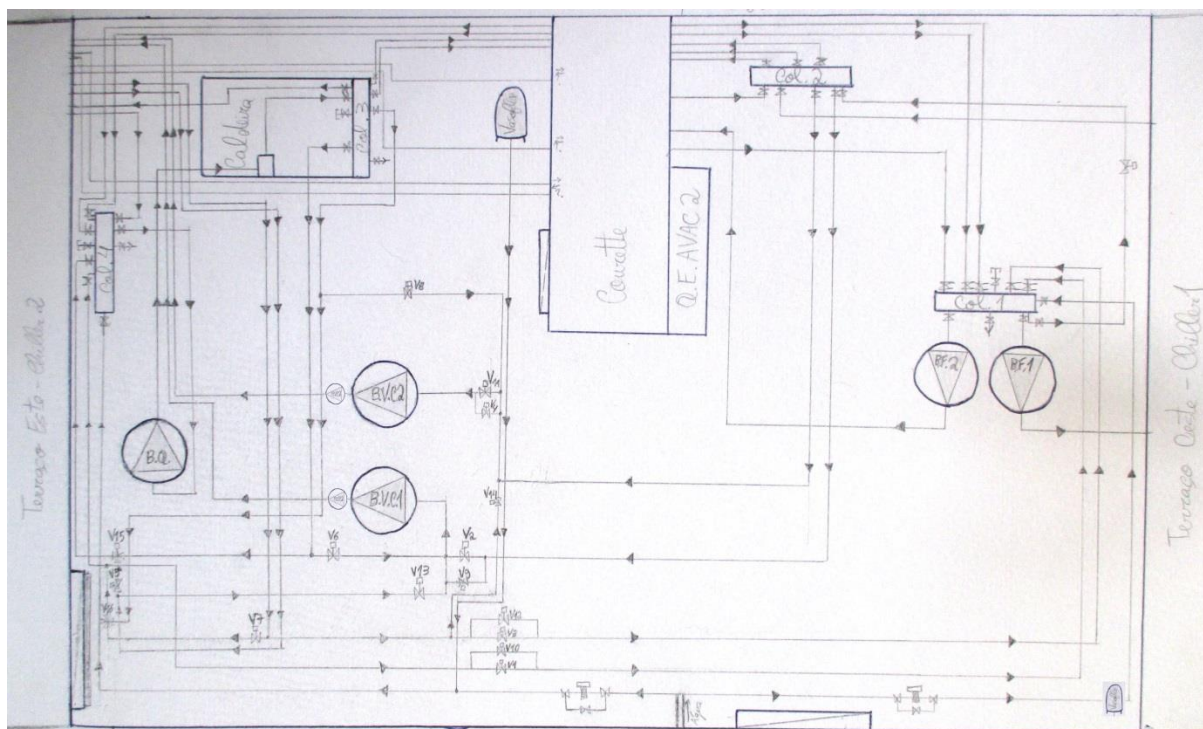




## Anexo IX

### Esquema do circuito da sala do AVAC

Constituído por tubagens, coletores, válvulas, hidrobombas e outros equipamentos, de modo a identificar os erros de dimensionamento descritos de seguida, assim como as intervenções necessárias.



**Anexo X**Planos de manutenção

Estes planos foram formulados em conjunto com a mestranda Diana Coimbra e são objeto de estudo na sua dissertação de mestrado.

Sugere-se a contratação ou formação de uma equipa específica e especializada interna ao LNEG, a realização anual de uma análise SWOT sobre o estado geral dos equipamentos do sistema AVAC.

**Legenda:**

D- Diário , S-Semanal, M-Mensal, TM-Trimestral, SM – Semestral, A-Anual

Caldeira

Operações		Periodicidade				
Caldeira		D	S	M	TM	A
Verificação do funcionamento geral	Medição e registo de temperaturas da água	X				
	Medição e registo de pressões de funcionamento		X			
	Medição do consumo de gás propano	X				
	Medição dos consumos elétricos	X				
	Verificação de fugas de vapor ou água	X				
Inspeção, calibração e teste das válvulas de segurança (passagem de vapor)			X			
Inspeção, calibração e teste do fluxóstato e encravamento de segurança				X		
Inspeção, calibração e teste do detetor de gás				X		
Controlo de corrosão da estrutura metálica / tratamento e retoques de pintura			X			
Verificação do estado dos isolantes				X		
Limpeza das tubagens (purgas)			X			
Verificação do estado das condutas de admissão de ar e exaustão de fumos					X	
Verificação dos eletrodos de acendimento e deteção de chama					X	
Limpeza dos injetores dos queimadores					X	
Medição da temperatura dos gases de exaustão						X
Medição da percentagem de O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> e CO (gases de exaustão)						X
Cálculo do rendimento da combustão à potência nominal (Determinação das					X	

Identificação e implementação de medidas de racionalização de energia de baixo custo em sistemas  
AVAC (*Campus LNEG – Alfragide*)

perdas por calor sensível)					
Limpeza do sistema de exaustão e da câmara de combustão					X
Otimização da razão estequiométrica					X

Chiller

Operações		Periodicidade				
Chillers		D	M	TM	SM	A
Verificação do funcionamento geral	Verificação de ruídos e vibrações	X				
	Medição e registo de temperaturas e pressões da água	X				
	Verificação do nível de óleo	X				
	Verificação de fugas de óleo ou de fluido de refrigeração	X				
	Registo de pressões de funcionamento	X				
	Medição de consumos elétricos	X				
Limpeza dos quadros elétricos					X	
Limpeza dos condensadores de ar					X	
Controlo de corrosão da estrutura metálica / tratamento e retoques de pintura					X	X
Limpeza geral do <i>Chiller</i>						X
Medição da resistência do isolamento elétrico						X
Análise espectrométrica da acidez do óleo						X
Verificação do funcionamento das resistências de <i>Carter</i> e do permutador			X			
Limpeza das tubagens (purgas)		X				

Eletrobombas (sala técnica AVAC)

Operações		Periodicidade				
Eletrobombas		D	M	TM	SM	A
Verificação geral do sistema	Verificação de fugas de água	X				
	Verificação de ruídos, vibrações e aquecimentos anormais	X				

	Verificação das pressões de entrada e saída	X				
Análise do estado de empanques e sua substituição, se necessário				X		
Verificação do estado das transmissões motor/bomba e substituição se necessário				X		
Verificação dos apertos mecânicos e eléctricos				X		
Limpeza geral da eletrobomba e limpeza dos ventiladores				X		
Verificação da estanquicidade e reapertos dos buçins					X	
Medição e registo do isolamento dos motores						X
Retoques de pintura ou pintura integral se necessário						X
Lubrificação das chumaceiras				X		
Verificação do estado dos rolamentos				X		
Verificação da tensão e consumo dos motores e comparação com os valores nominais		X				

### Unidades *split*

Operações	Periodicidade		
Unidades autónomas	M	TM	SM
Verificação do funcionamento geral	X		
Verificação de ruídos e vibrações		X	
Verificação de fugas de óleo ou de fluido de refrigeração		X	
Limpeza de filtros de ar		X	
Medição de temperatura do ar (insuflação e retorno)		X	
Medição de consumos eléctricos		X	
Limpeza das unidades interiores e exteriores			X
Limpeza dos tabuleiros de condensados		X	
Reaperto de componentes mecânicos e eléctricos, se necessário			X
Limpeza dos quadros eléctricos			X

Difusores – ventiloconvectores (gabinetes)

Operações		Periodicidade			
Ventiloconvectores (gabinetes)		M	TM	SM	A
Análise geral do estado de funcionamento do equipamento	Análise de ruído nos rolamentos dos motores	X			
	Medição de temperaturas do ar (entrada/saída)			X	
	Verificação das condições térmicas das áreas climatizadas e reposição de situações de reclamações/avarias	X			
	Verificação de eventuais fugas de água, estado da tubagem e do isolamento térmico			X	
	Medição e registo do consumo elétrico dos motores			X	
Medição e registo do isolamento dos motores elétricos				X	
Verificação da atuação das eletroválvulas de três vias de água quente e fria e substituição se necessário				X	
Alinhamento das polias, se necessário				X	
Isolamento de fugas de ar nas lonas de acoplamento entre unidade e as condutas se necessário				X	
Substituição dos rolamentos, se necessário					X
Substituição de correias e ajuste da tensão das mesmas, se necessário				X	
Limpeza interior aos motores dos ventiladores				X	
Limpeza de filtros de ar com produto de limpeza adequado			X		
Limpeza por aspiração dos permutadores				X	
Purga de ar nas baterias de água quente e fria				X	
Limpeza dos filtros de água quente e fria				X	
Reapertos mecânicos e elétricos					X
Pintura e recuperação de pontos de corrosão					X
Limpeza e desobstrução do esgoto de condensados e verificação da drenagem respetiva			X		
Inspeção e limpeza das pás do ventilador					X
Verificação dos apoios da unidade					X
Verificação do funcionamento dos termóstatos				X	
Verificação da estanquicidade de todas as válvulas de seccionamento				X	

Identificação e implementação de medidas de racionalização de energia de baixo custo em sistemas  
AVAC (*Campus LNEG – Alfragide*)

Testar velocidades do ventilador		X		
----------------------------------	--	---	--	--

Unidades de tratamento de ar

Operações		Periodicidade					
Unidades Centrais de Tratamento de Ar		D	S	M	TM	SM	A
Verificação do funcionamento geral	Verificação de ruídos e vibrações		X				
	Medição da temperatura do ar (insuflação e retorno)			X			
	Medição de consumos elétricos			X			
	Verificação do estado e tensão das correias de transmissão e ajuste das mesmas, se necessário				X		
	Verificação de eventuais fugas de água e do estado das tubagens				X		
Limpezas de filtros de ar					X		
Ensaio do sistema de controlo de temperaturas				X			
Limpeza das serpentinas de permuta térmica					X		
Limpeza dos tabuleiros de condensados					X		
Reaperto de componentes mecânicos e elétricos						X	
Controlo de corrosão da estrutura metálica / tratamento e retoques de pintura							X
Medição da resistência do isolamento elétrico						X	
Lubrificação de rolamentos e chumaceiras						X	
Alinhamento das polias						X	
Limpeza geral (interior e exterior)							X
Limpeza do filtro de água					X		
Verificação e teste do funcionamento das válvulas motorizadas					X		
Limpeza e verificação das condições de funcionamento dos motores elétricos					X		
Limpeza, afinação, lubrificação, reapertos e controlo de bom funcionamento dos registos de ar					X		
Verificação de todo o sistema de controlo e comando					X		
Verificação da estanquicidade de todas as válvulas de seccionamento					X		
Verificação do isolamento térmico					X		

Unidades de ventilação de extração (VE)

Operações	Periodicidade		
VE	D	SM	A

Limpeza geral e de filtros (se aplicável)			X
Verificação e alinhamento das polias de transmissão			X
Ajuste e verificação do estado das correias (excluindo os ventiladores de acoplamento directo)			X
Verificação dos apertos das fixações do motor e ventilador			X
Medição e registo da corrente absorvida dos motores eléctricos		X	
Limpeza exterior das turbinas			X
Verificação de ruído de chumaceiras e rolamentos	X		
Reapertos eléctricos e mecânicos		X	
Retocar pontos de ferrugem			X
Limpeza, afinação, lubrificação, reapertos e controlo do bom funcionamento dos registos			X

#### Rede de distribuição de água climatizada

Operações		Periodicidade				
Rede hidráulica (incluindo tubagens e coletores)		D	M	TM	SM	A
Verificação do funcionamento geral da instalação	Verificação de apertos de juntas e ligações	X				
	Verificação de eventuais fugas de água	X				
	Verificação do funcionamento dos purgadores e realização de purgas	X				
	Verificação dos sistemas de controlo e regulação de pressões e temperaturas	X				
	Verificação do funcionamento dos fluxóstatos	X				
Verificação do isolamento das tubagens			X			
Limpeza dos filtros					X	
Teste da válvula de segurança dos vasos de expansão e da eficácia dos mesmos				X		
Válvulas de regulação e controlo de fluxo de água						
Verificação do funcionamento e estanquidade		X				
Verificação e abertura da válvula de retenção, se necessário		X				
Reaperto do buçim, se necessário		X				
Qualidade de água						
Espectrometria						X
Determinação da densidade						X
Análise química e bacteriológica					X	

Circuito de distribuição de ar interior

Operações	Periodicidade		
Circuito de distribuição de ar de climatização	TM	SM	A
Verificação do estado de isolamento das condutas		X	
Verificação do funcionamento dos registos corta-fogo		X	
Limpeza de grelhas e difusores (insuflação, extracção e retorno)		X	
Verificação dos registos e acerto dos caudais de ar, se necessário		X	
Verificação do funcionamento e acerto dos equipamentos de controlo e regulação de temperatura ambiente	X		
Medição e registo das temperaturas de ar nas condutas, no ambiente e correcção, se necessário	X		
<b>Qualidade do ar interior</b>			
Análise de agentes microbiológicos e patogénicos			X
Análise de contaminantes			X
Medição da humidade relativa			X
Medição dos níveis de CO e CO <sub>2</sub>			X

Quadros Elétricos (AVAC)

	Operações	Periodicidade				
	Circuito de distribuição de ar de climatização	S	M	TM	SM	A
Verificar funcionamento geral e pesquisa de anomalias	Verificação de proteções diferenciais e magnetotérmicas, fusíveis e corta circuitos, incluindo teste e regulação se necessário		X			
	Verificação da fixação dos aparelhos				X	
	Verificação do estado da cablagem				X	
	Verificação do estado dos relés, contadores e alarmes, incluindo teste e regulação se necessário	X				
	Teste de lâmpadas sinalizadoras	X				
	Verificação do estado dos suportes do quadro e cabos exteriores				X	
	Termografia					X
Limpeza geral do quadro					X	
Medição de correntes e verificação do equilíbrio entre fases			X			



Medição de defeitos à terra		X			
Medição de consumos eléctricos e regulação de proteções térmicas e testes			X		
Reaperto de contactos eléctricos, se necessário				X	
Revisão de todos os circuitos eléctricos de potência, regulação e controlo				X	
Verificação de etiquetagem interior e exterior				X	
Verificação de estanquicidade de portas e buçins				X	
Lubrificação de fichas e dobradiças				X	
Teste dos aparelhos de medida dos Quadros (voltímetros, amperímetros, etc.)					X

## Anexo XI

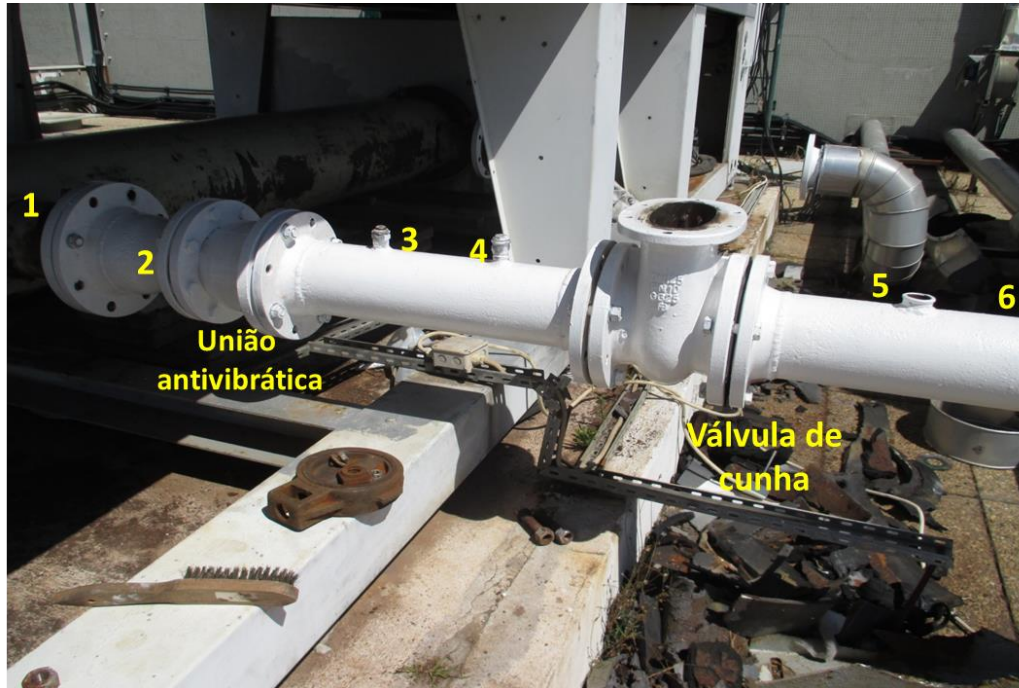
### Distribuição dos equipamentos do sistema AVAC pelos respetivos quadros elétricos

<b>QAVAC 1</b>	UTAN 1, 7
	UTA 3
	UTV
	Caldeira
	BQ
	BVC 1
	BVC 2
	<i>Chillers 1, 2</i>
	BF 1
	BF 2
<b>QAVAC 2</b>	VE 1
	VE 4
	VE 7
	UTA 4
	UTA 5
<b>QAVAC 3</b>	VE 2
	VE 5
	VE 6
	VE 3
	VE 9



### Anexo XIII

Esquemas representativos do estado final das tubagens de saída e de entrada do permutador, respetivamente



Legenda:

- 1 - Sondas de temperatura (gestão)
- 2 - Resistência de Anticongelamento do permutador
- 3 - Sonda de temperatura (termostato)
- 4 - Indicador analógico de temperatura
- 5 - Fluxóstato
- 6 - Purgador automático e manual

A união antivibrática tem como principal função, a anulação dos efeitos das vibrações mecânicas do *Chiller* nas tubagens.

A válvula de cunha flangeada é um mecanismo com torneira que possibilita a passagem ou não de água pelas tubagens.



Legenda:

- 1- Sondas de temperatura (gestão)
- 2 - Sonda de temperatura (termostato)
- 3 - Purgador automático e manual
- 4 - Manómetro
- 5 - Fluxóstato

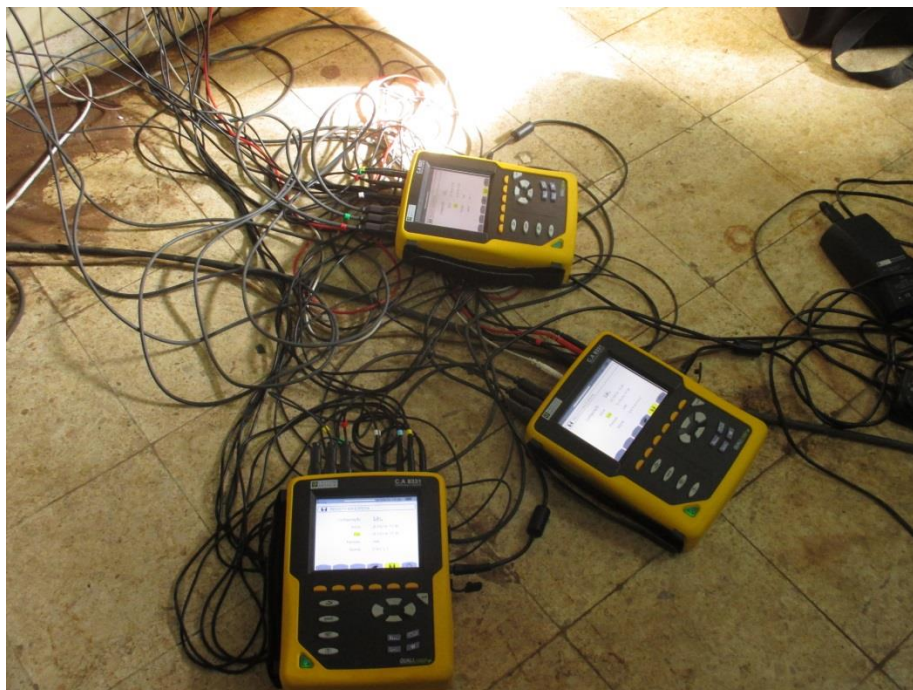
## Anexo XIV

Chauvin Arnoux

Modelo CA 8334B



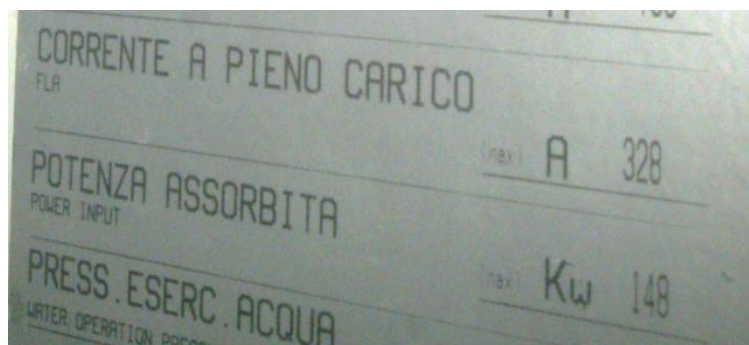
Modelo CA 8331





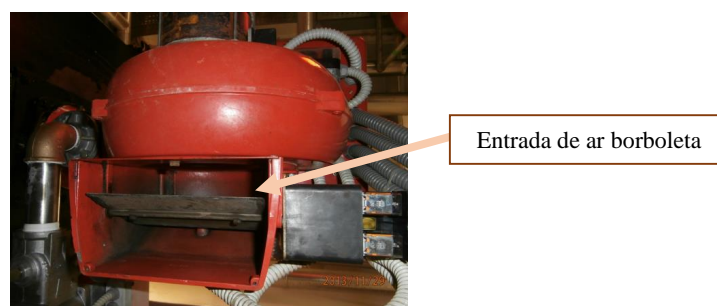
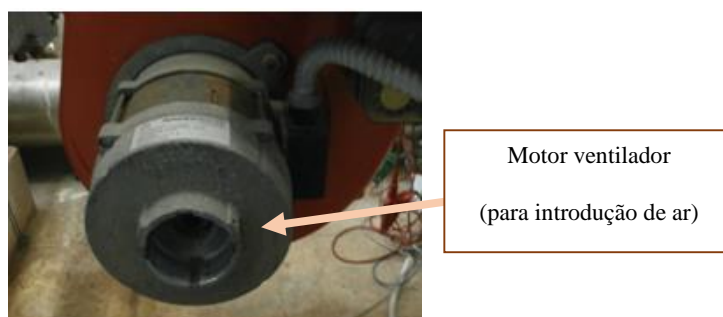
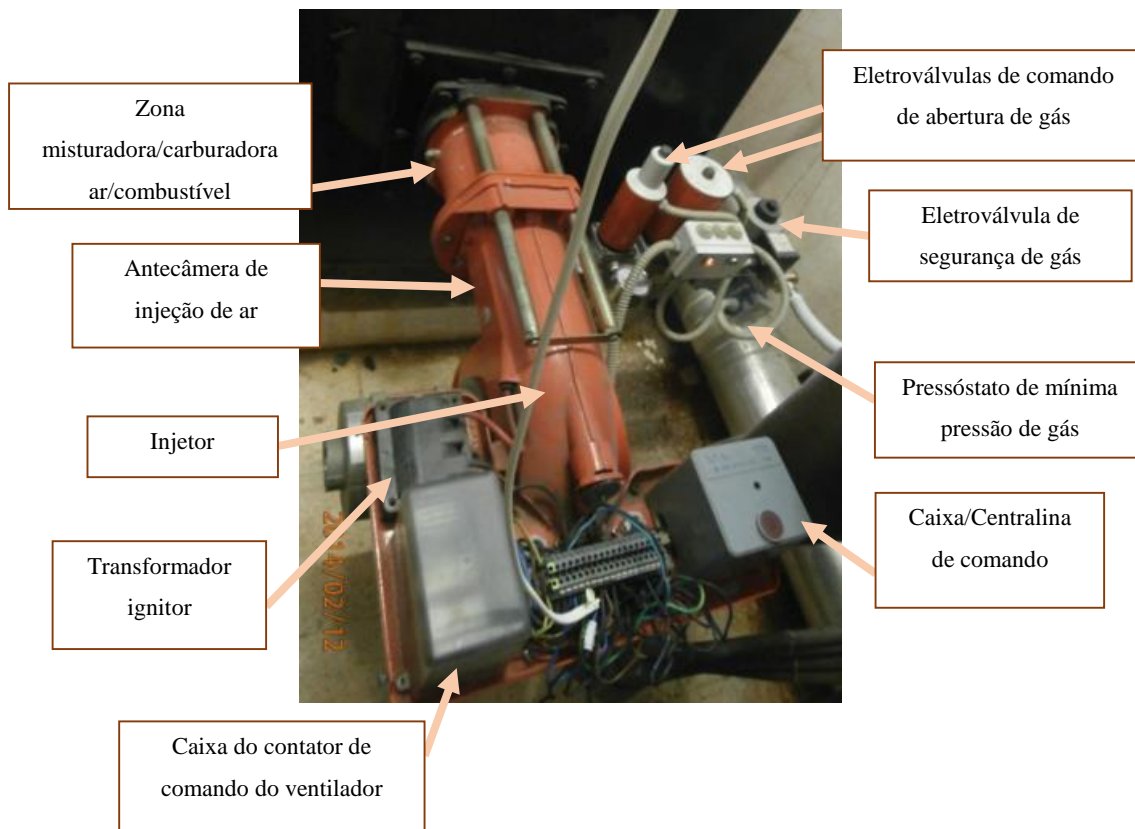
## **Anexo XV**

Placa de características representativa dos 2 circuitos de compressão existentes em cada *Chiller*

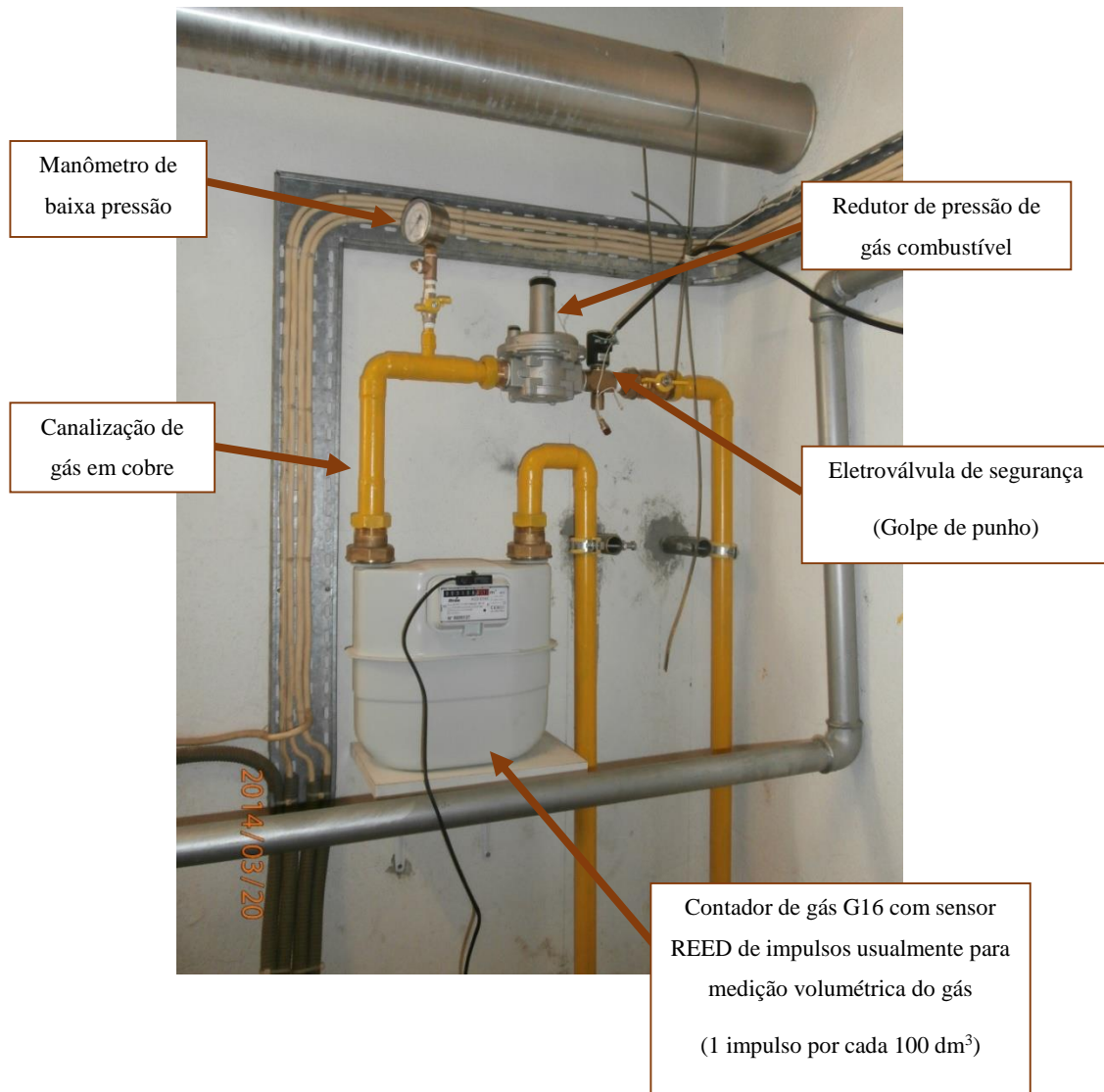


## Anexo XVI

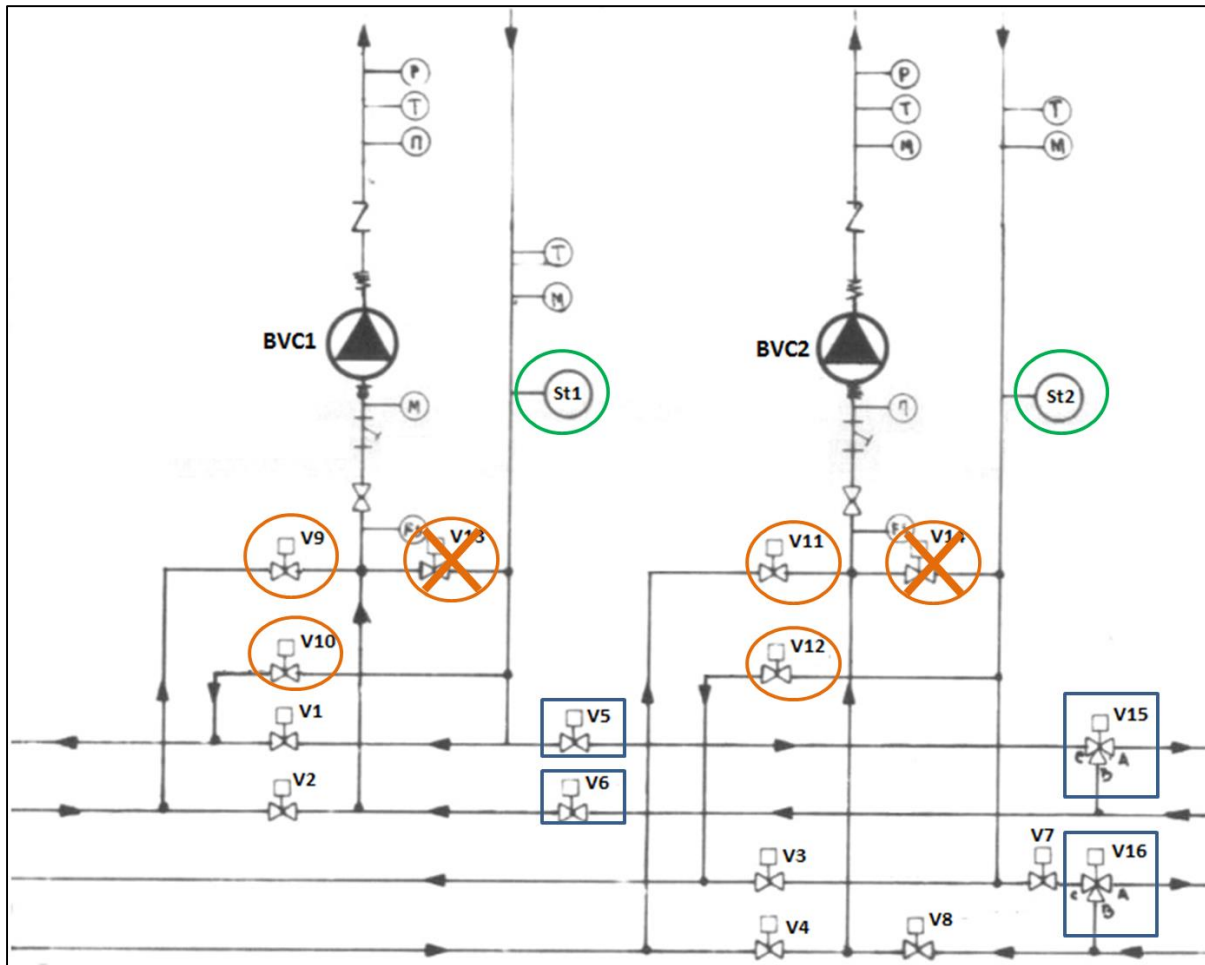
Esquemas representativos do estado final do sistema de aquecimento e identificação do componentes modificados ou melhorados







## Anexo XVII



### Alterações:

- A válvula existente entre os coletores de entrada e saída do circuito de frio foi inutilizada.
- As sondas de temperatura do circuito de gestão técnica centralizada pré-existente não foram retiradas, não estando contudo a ser utilizadas.
- As válvulas 9, 10, 11 e 12 não foram retiradas, contudo estão inutilizadas.
- As válvulas 13 e 14 foram removidas.
- As válvulas 5, 6, 15 e 16 foram integradas segundo uma ordem de abertura.
- O vaso de expansão de maior dimensão foi colocado no piso -1, na zona de entrada de água do edifício principal.
- O circuito de entrada de água na sala técnica do AVAC foi simplificado.